



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR POR ABSORCIÓN
CON TAMICES MOLECULARES PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL
ANHIDRO”**

TESIS DE GRADO

**Previo a la Obtención del Título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES: ARELLANO PÉREZ ALBERTO ISRAEL
RIOFRÍO LÓPEZ LUIS EDUARDO**

TUTOR: ING. HANNIBAL BRITO

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

AGRADECIMIENTO

Para expresar el más sincero agradecimiento a todos y cada uno de los que estuvieron presentes en esta larga carrera que ahora llega a su fin pero a su vez implica el inicio de nuevos retos y oportunidades, queremos citar primeramente al Creador, que nos ha dado un día más de vida y ha permitido llegar hasta aquí.

Luis Eduardo Riofrío López

Agradecemos a todos los miembros de nuestra familia, en especial a nuestros padres, que día tras día nos inculcan valores y compromisos que ahora nos llevan a terminar una de nuestras metas propuestas, con la entrega de este arduo trabajo queremos demostrarles lo mucho que los amamos.

Alberto Israel Arellano Pérez

DEDICATORIA

Dedico la culminación de este trabajo a Lucho y Patty, mis padres, la base de todo lo que soy y seré, mis dos grandes ejemplos a seguir.

A mi hermana y abuelitos, a todos mis tíos, en especial a Daniela, Iralda, Gimena y Victor que su apoyo siempre estuvo presente.

Luis Eduardo Riofrío López

Dedico la presente tesis realizada con mucho esfuerzo a todos mis seres queridos, en especial a los que forman parte de lo más bello e importante en la vida, mi familia, ya que gracias a su ejemplo, palabras y la convivencia en sí, me he formado como profesional y más importante aún como persona.

Alberto Israel Arellano Pérez

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

HOJA DE FIRMAS

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR POR ABSORCIÓN CON TAMICES MOLECULARES PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL ANHIDRO”, de responsabilidad de los señores Luis Eduardo Riofrío López y Alberto Israel Arellano Pérez ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. César Ávalos I. DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
Ing. Mario Villacrés A. DIRECTOR DE LA ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA
Ing. Hanníbal Brito M. PhD. DIRECTOR DE TESIS
Ing. José Usiña. MIEMBRO DEL TRIBUNAL
COORDINADOR SISBIB ESPOCH	
Nota de Tesis Escrita	

HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Nosotros, LUIS EDUARDO RIOFRÍO LÓPEZ Y ALBERTO ISRAEL ARELLANO PÉREZ, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos y propuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

Luis Eduardo Riofrío López
Pérez

Alberto Israel Arellano

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	pp:
I	DESHIDRATADOR - 72 -
II	TAMIZ - 73 -
III	PRECALENTADOR - 73 -
IV	CONDENSADOR - 74 -
V	DESHIDRATADOR..... - 75 -
VI	PRECALENTADOR..... - 76 -
VII	TAMIZ - 77 -
VIII	CONDENSADOR - 78 -
IX	ACCESORIOS DEL DESHIDRATADOR..... - 79 -
X	VACIADO DE ZEOLITA - 80 -

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO

pp:

1	FICHA TÉCNICA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA DEL ETANOL ANHIDRO	- 6 -
2	FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA	- 6 -
3	DATOS ETANOL	- 7 -
4	PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALCOHOL ETÍLICO ANHIDRO	- 7 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN

pp:

1	- 17 -
2	- 17 -
3	- 17 -
4	- 18 -
5	- 19 -
6	- 19 -
7	- 20 -
8	- 20 -
9	- 20 -
10	- 21 -
11	- 21 -
12	- 21 -
13	- 21 -
14	- 22 -
15	- 22 -
16	- 23 -
17	- 23 -
18	- 24 -
19	- 24 -
20	- 25 -
21	- 25 -
22	- 26 -
23	- 26 -

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	pp:
1 MOLÉCULA DE ALCOHOL.....	- 1 -
2 CONFIGURACIÓN ESPACIAL Y ESTRUCTURA DEL ETANOL	- 4 -
3 USOS DEL ETANOL COMO COMBUSTIBLE	- 4 -
4 DESTILADOR AZEOTRÓPICO.....	- 9 -
5 DESTILADOR EXTRACTIVO.....	- 10 -
6 DESTILADOR SALINO.....	- 11 -
7 DESTILADOR AL VACÍO	- 12 -
8 PERVAPORADOR	- 13 -
9 DESTILADOR-PERVAPORADOR.....	- 14 -
10 TAMICES MOLECULARES	- 16 -

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO	pp:
1 TIEMPO VS °GL.....	- 51 -
2 TAMIZ, VOLUMEN VS °GL.....	- 52 -
3 TIEMPO VS PRESIÓN.....	- 52 -
4 TIEMPO VS TEMPERATURA.....	- 53 -
5 TIEMPO VS TEMPERATURA.....	- 54 -
6 TIEMPO VS PRESIÓN.....	- 54 -
7 TIEMPO VS °GL.....	- 60 -
8 VOLUMEN VS °GL.....	- 60 -
9 TIEMPO VS PRESIÓN.....	- 60 -
10 TIEMPO VS TEMPERATURA.....	- 61 -
11 TIEMPO VS PRESIÓN.....	- 62 -
12 TIEMPO VS PRESIÓN.....	- 62 -

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	pp:
1 CANTIDAD DE ZEOLITA A3 A UTILIZARSE.....	- 29 -
2 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR DE ABSORCIÓN	- 30 -
3 RENDIMIENTO DEL EQUIPO	- 31 -
4 DATOS PARA OBTENER LA MASA REAL DE ZEOLITA	- 32 -
5 DATOS PARA OBTENER LA MASA REAL DE ZEOLITA	- 32 -
6 DATOS PARA OBTENER LA MASA REAL DE ZEOLITA	- 33 -
7 DATOS PARA OBTENER LA ALTURA DEL LECHO INTERNO DE ZEOLITA Y VOLUMEN DEL TAMIZ	- 33 -
8 DATOS PARA EL PROCESO DE DESTILADO	- 33 -
9 DATOS DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE DESTILADO.....	- 33 -
10 DATOS PARA EL PROCESO DE DESHIDRATADO	- 33 -
11 DATOS DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE DESHIDRATADO	- 34 -
12 DATOS PARA EL PROCESO DE DESHIDRATADO	- 34 -
13 DATOS DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE DESHIDRATADO	- 34 -
14 DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE P.P.I.I.....	- 34 -
15 DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE P.P.I.I.....	- 35 -
16 RESULTADOS DE DESHIDRATADO	- 63 -
17 DIMENSIONAMIENTO PARA EL DESHIDRATADOR DE ALCOHOL	- 64 -
18 COSTOS DE PRODUCCIÓN	- 65 -
19 PRECIO DE VENTA	- 65 -

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	pp.
RESUMEN	I
SUMARY	II
INTRODUCCIÓN	III
ANTECEDENTES	VI
JUSTIFICACIÓN	VIII
OBJETIVOS	IX
CAPITULO I	- 1 -
1 MARCO TEÓRICO	- 1 -
1.1 Alcohol	- 1 -
1.1.1 Propiedades físicas de los alcoholes	- 1 -
1.1.2 Propiedades Químicas	- 2 -
1.1.3 Usos y Tipos de Alcohol	- 3 -
1.1.4 Etanol	- 3 -
1.1.5 Principales usos del etanol	- 4 -
1.1.6 Alcohol anhidro	- 5 -
1.1.7 Ventajas del uso del etanol carburante	- 5 -
1.1.8 Datos importantes	- 6 -
1.1.9 <i>Propiedades físicas</i>	- 7 -
1.2 Deshidratación	- 7 -
1.2.1 Procesos para la deshidratación de etanol	- 8 -
1.2.2 Destilación azeotrópica	- 8 -
1.2.3 Destilación extractiva	- 9 -
1.2.4 Destilación salina	- 11 -
1.2.5 Destilación al vacío	- 11 -
1.2.6 Pervaporación	- 12 -

1.2.7	Procesos híbridos	- 14 -
1.2.8	Absorción con tamices moleculares	- 15 -
1.3	Diseño	- 16 -
1.3.1	Densidad	- 17 -
1.3.2	Cantidad de zeolita a3 a emplear en el lecho	- 18 -
1.3.3	Volumen	- 18 -
1.3.4	<i>Cantidad de agua absorbida</i>	- 19 -
1.4	Experimento	- 21 -
1.4.1	Fórmulas de la parte experimental	- 21 -
CAPITULO II		- 27 -
2	PARTE EXPERIMENTAL	- 27 -
2.1	Muestreo	- 27 -
2.2	Metodología	- 27 -
2.2.1	Métodos y Técnicas	- 27 -
2.3	Datos de Diseño	- 32 -
2.3.1	Diagnóstico	- 32 -
2.3.2	Datos	- 32 -
CAPITULO III		- 36 -
3	CÁLCULOS Y RESULTADOS	- 36 -
3.1	Cálculos Ideales	- 36 -
3.1.1	Cantidad de zeolita A3 a emplear en el lecho	- 36 -
3.1.2	Tamiz de Absorción	- 38 -
3.2	Cálculos Reales de Diseño	- 39 -
3.2.1	Cantidad de zeolita A3 a emplear en el lecho	- 39 -
3.2.2	Lecho Interno	- 40 -
3.2.3	Cobertura Externa	- 41 -

	pp.
3.3 Cálculos Experimentales	- 41 -
3.3.1 Práctica de laboratorio durante la validación	- 41 -
3.3.2 Práctica de laboratorio previo a la validación	- 54 -
3.4 Tabla de resultados	- 63 -
3.5 Propuesta de diseño	- 63 -
3.6 Esquema de equipo	- 64 -
3.7 Costos de Producción	- 65 -
3.8 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.	- 66 -
CONCLUSIONES	- 68 -
RECOMENDACIONES	- 69 -
BIBLIOGRAFÍA	- 70 -
ANEXOS	-71-

RESUMEN

El diseño y construcción de un deshidratador por absorción con tamices moleculares para la obtención de alcohol anhidro se realizó con el objeto de reducir sustancialmente el porcentaje de agua en el etanol, para aumentar su grado alcohólico, el equipo antes mencionado servirá dentro del ámbito profesional, didáctico y educativo en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Para el diseño, se realizó ensayos de Laboratorio variando la temperatura y presión, de la alimentación al tamiz, estas son 120°C y 40 PSI; por lo que, el equipo cuenta con una Torre de deshidratación con un diámetro de 11 cm, una capacidad de 9,5 L, un lecho interno de 100 cm y 15 cm en la parte superior e inferior para la entrada y salida de la alimentación necesarios para absorber desde el 3,5 al 20% de agua contenida en el etanol, un Precalentador que trabaja con una temperatura de 120°C indispensable para elevar la entalpía del vapor, y un Condensador alimentado con agua a temperatura de 25°C que permite transformar el alcohol anhidro en estado vapor a estado líquido..

Como resultado se obtuvo un deshidratador de alcohol etílico con un rendimiento del 86,6% y una eficiencia del 92,9%, siendo resultados positivos que indican que podemos elevar el grado alcohólico hasta llegar al 99,5% en peso, en un tiempo de 20 minutos.

Se recomienda utilizar el deshidratador dentro del laboratorio para futuras investigaciones complementando así la parte teórica con la práctica.

SUMARY

The design and construction of a molecular absorption dryer for obtaining anhydrous alcohol was performed in order to substantially reduce the percentage of water in ethanol to increase their alcohol content, the aforementioned equipment serves in the professional field, training and educational system, at Laboratory of Industrial Process, Sciences Faculty at ESPOCH.

For design, was made some laboratory test varying the temperature and pressure of the feed to the column, these are 120°C and 40 PSI; therefore, the machine has a dehydration tower with a diameter of 11 cm, a capacity of 9,5 L, an internal bed 100 cm and 15 cm at the top and bottom for input and output feed needed to absorb from 3,5 to 20% water in ethanol, a preheater works with a temperature of 120°C essential to raise the enthalpy of the steam, and a condenser supplied with 25 °C water which transforms alcohol anhydrous liquid into vapor state.

As a result a dehydrator ethyl alcohol was obtained with a yield of 86,6% and an efficiency of 92,9%, with positive results indicate that we can raise the alcoholic strength to reach 99,5% by weight, on a time of 20minutes.

It is recommended to use the dehydrator in the laboratory for future research complementing the theoretical to the practical.

INTRODUCCIÓN

Se realizó la deshidratación del alcohol etílico en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la ESPOCH hasta obtener un 0,05% de agua, este alcohol se puede definir como un líquido incoloro de olor agradable de formula C_2H_5OH , industrialmente es una fuente de combustible calorífico renovable y biodegradable que se lo obtiene partiendo de las mezclas de azúcar de la caña o la remolacha principalmente, también de otros materiales ricos en almidón.

Existen otros métodos de obtención, partiendo del etileno por vapor a presión en presencia de un catalizador, y también partiendo del acetileno hidratándolo con sales mercuricas y reduciéndolo con hidrógeno en presencia de níquel. Pero generalmente y casi en el 95% de las industrias en el mundo el etanol se obtiene por la vía fermentativa de los azúcares.

Este alcohol no puede concentrarse más del 96% por simple destilación ya que forma con el agua una mezcla azeotrópica que ebulle aproximadamente a 78,2 °C. Sin embargo resulta interesante la obtención de alcohol anhidro, 99,5 – 99,9 % en peso, para diversas aplicaciones entre ellas la más importante es mejorar el octanaje de la gasolina actuando como aditivo.

El alcohol anhidro o también conocido como alcohol carburante se puede conseguir industrialmente mediante la aplicación de diferentes tecnologías, tales como: destilación azeotrópica, destilación extractiva, destilación salina, destilación al vacío, pervaporación, absorción con tamices moleculares y procesos híbridos.

El presente trabajo está orientado al diseño y construcción de un equipo de deshidratación para la obtención de alcohol carburante, utilizando la deshidratación por absorción con tamices moleculares en forma de un lecho compuesto de zeolitas en forma granular que absorbe el agua restante del sistema etanol-agua subiendo el porcentaje de etanol en un rango de 99,5% - 99,9%. Siendo ésta la tecnología que más se ha desarrollado en los últimos años en la industria del alcohol carburante para deshidratar el alcohol y que ha venido reemplazando a la destilación azeotrópica. Los

tamices moleculares son elaborados a partir de aluminosilicatos microporosos como lo es la zeolita.

El mundo encara el agotamiento progresivo de sus recursos energéticos basados mayoritariamente en combustibles no renovables, de igual manera los problemas ambientales generados por la quema de combustibles y por ende la generación de gases contaminantes contribuye al cambio climático y deterioro del planeta. Esta problemática preocupa cada vez más a los gobiernos, las ONG, las comunidades y opinión pública en general, una opción para mitigar el impacto generado por los combustibles es la utilización de biocombustibles, el más importante entre ellos está el alcohol carburante que puede ser utilizado como oxigenante de la gasolina, elevando su contenido de O₂ y realizando el octanaje, lo que permite una mayor combustión de la misma disminuyendo las emisiones contaminantes, la ignición temprana y el cascabeleo del motor. En el mundo países como Francia utiliza como materia prima la remolacha azucarera, en Suecia se usa etanol como sustituto para el diésel, a partir del 2004 casi toda su gasolina de 95 octanos contiene del 4 a 5% de etanol. En países de América como los EEUU usan el almidón para producir alcohol carburante como aditivo, en el año 2000 el 99,7% de etanol fue usado como gasohol. Brasil tiene una larga y exitosa tradición en el uso del etanol como combustible tanto en forma directa o mezclado con gasolina, por lo que es el mayor productor y consumidor de etanol en el mundo. Además de Francia, Suecia, EEUU y Brasil, varios países como la India, Tailandia, Australia, China y Colombia están comprometidos a emplear etanol como combustible automotor alternativo, motivados por las preocupaciones ambientales.

Ecuador posee un rendimiento anual de 9000 litros de etanol por hectárea de caña de azúcar y una demanda aproximadamente de 92000 barriles de etanol al año, en la ciudad de Guayaquil. De igual manera, posee una capacidad para la producción de etanol de 136000 litros diarios, y anualmente, se estima una producción de 50 millones de litros al año. La producción privada de etanol está a cargo de tres fábricas: Producargo, Sideral S.A., y Codona S.A.

En Guayaquil desde el 12 de enero del 2010 el Comité Nacional de Biocombustible, el cual está conformado por el Ministerio de Agricultura, Acuicultura y Pesca; Ambiente; Industrias y Productividad; Energía y Petrocomercial, administró y puso en marcha el

plan piloto del uso de biocombustible, que se llevará a cabo hasta el año 2015. La nueva gasolina está compuesta por el 5% de alcohol carburante, denominada Ecopaís.

ANTECEDENTES

El alcohol etílico o etanol es un producto que se lleva produciendo desde la antigüedad, originalmente era un componente para la preparación de medicinas y bebidas, y más tarde se utilizó en las lámparas. Después de la invención del automóvil el uso del etanol como combustible era una gran incógnita.

Cada país tiene su propia materia prima para obtener alcohol, por ejemplo en EEUU el maíz, en Suecia la madera y Brasil la caña de azúcar. En EEUU cuando Henry Ford diseñó su primer automóvil en 1908, analizó la posibilidad de usar etanol proveniente del maíz como combustible renovable para hacer andar su vehículo, pero el alto costo de producción y transporte del mismo hizo que su proyecto no tenga futuro.

En 1930 Henry Ford y otros expertos crearon una planta para fermentar 38000 litros/día de etanol con el fin de sacar a flote su antiguo proyecto etanol-combustible y motivar a la gente al consumo del mismo, dicho combustible tomó el nombre de gasohol. Años más tarde debido al bajo costo del petróleo la planta fermentadora quebró y fue vendida a una industria farmacéutica, y el combustible usado por todos los estadounidenses fue la gasolina.

En 1979 debido a la escasez de gasolina se vieron obligados añadir etanol a la misma. Desde 1990 la gasolina oxigenada con etanol tuvo una gran demanda. La E10, o gasohol que es una mezcla de 10% de etanol con 90% de gasolina, ha sido más comúnmente distribuida, la E85 y E95 han sido probadas satisfactoriamente en autobuses de tránsito urbano. La producción de etanol en Estados Unidos es aproximadamente alrededor de 150000 millones de galones al año.

El primer intento de usar etanol como combustible en Brasil fue en los años 20, el primer coche propulsado por etanol en 1925 fue conducido desde Rio de Janeiro hasta Sao Paulo. Después de la depresión de 1929 la industria azucarera brasileña se vio afectada por una grave crisis y la fabricación de etanol con los excedentes de las cosechas de azúcar se convirtió en una alternativa interesante y un elemento regulador para el sector.

En la época de 1931 el presidente de Brasil, Getulio Vargas era un gran entusiasta del uso del etanol como combustible, que durante su mandato las políticas de su gobierno animaban a mezclar etanol con la gasolina. Brasil innovó y sacó el máximo provecho de la industria de caña de azúcar creando Proalcohol, el programa nacional de alcohol brasileño, produciendo etanol como combustible a gran escala. Primordialmente se mezclaba el etanol con la gasolina pero desde 1979 en adelante muchos automóviles circulaban exclusivamente con etanol. (Cerpa, Manuel G. 2005 pp. 1-4)

El uso de hasta E20, 20% de etanol en la gasolina, no requiere modificación alguna en los motores, pero para un porcentaje más elevado se ve la necesidad de adaptarlos, es por eso que varias casas automotrices han desarrollado motores que solo utilizan etanol, algunas de ellas son: GM, Ford, Volkswagen, Fiat y Chrysler.

Actualmente Ecuador participa en el plan piloto de distribución de biocombustible, Ecopaís, que inició en Guayaquil desde el 12 de enero del 2010, con una gran aceptación por parte de la ciudadanía, y que se extiende hasta el 2015, expendiendo en su primera fase 105 mil galones diarios de combustible.

Referente a Riobamba podemos citar que en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se han realizado tesis como:

En la Facultad de Ciencias en el 2008, Obtención de etanol a partir de los residuos orgánicos de la sección de frutas del mercado mayorista de Riobamba de QUIZHPI L.

En la Facultad de Mecánica en el 2012 y 2010 respectivamente: Determinación de la eficiencia de mezcla de gasolina de ochenta octanos con etanol anhidro para su utilización en motores de combustión interna de cuatro tiempos encendido por chispa de MASSON RICAUTE, y Diseño, construcción y pruebas de un sistema prototipo para la producción de etanol a partir de papa, zanahoria, remolacha y lacto suero de CHOLOTA/ MORA.

JUSTIFICACIÓN

El cambio de matriz productiva y energética que impulsa el gobierno de turno exige a las universidades el planteamiento de un nuevo enfoque, basado en elaborar productos terminados y no sólo exportar materias primas. En este nuevo nicho de mercado se plantea el diseño y construcción de un deshidratador para obtener alcohol anhidro y así dejar un proyecto que en un futuro muy cercano podrá ser usado principalmente en la adición de biocombustible ayudando a reducir las importaciones de nafta de alto octanaje y al mismo tiempo contribuir con la producción agrícola nacional.

El proyecto en marcha de distribución de biocombustible “Ecopaís” busca reemplazar el 5% de combustible por etanol anhidro, con fuentes principalmente de caña de azúcar y licor vendido en el mercado informal, este proyecto aporta al diseño y construcción de un equipo que después de una destilación podrá obtener el grado alcohólico necesario para oxigenar la gasolina.

La prestigiosa institución “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” en su Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química cuenta con un laboratorio de Operaciones Unitarias, que ya desde hace varios años ha iniciado un proceso investigativo en la obtención de nuevos productos como el etanol, en base a estos equipos y con la implementación de nuestro deshidratador daremos continuidad a este proceso proporcionando tecnología de un balance económico favorable y que no se encuentre dentro de un mercado completamente saturado acorde a las necesidades nacionales y a la visión actual que nuestra universidad desea para responder a las exigencias del sector productivo de nuestro país. Mediante la entrega de éste equipo, el laboratorio de Operaciones Unitarias podrá analizar más a fondo y diversos factores que contribuirán con el desarrollo del País, y la complementación de la parte teórica con la práctica.

En nuestra prestigiosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo al momento se realizan pruebas con mejores resultados en la mezcla de gasolina con alcohol anhidro

99,5%, descartando la mezcla de gasolina con alcohol etílico destilado al 96%, ya que el 4% restante de agua al no ser combustible deja daños notorios en el motor.

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar el diseño y construcción de un deshidratador para la obtención de alcohol anhidro.

ESPECÍFICOS

- Determinar las variables del proceso presentes en el diseño del equipo propuesto.
- Elaborar una hoja de cálculo dinámica para el diseño del equipo en base al porcentaje de pureza del alcohol.
- Medir el grado alcohólico de alcoholes provenientes de 2 zonas productoras, para la elección del etanol de mayor grado.
- Validar el equipo.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Alcohol

El origen de su significado surge de las palabras árabes 'espíritu' y 'sutil', desde esta analogía el alcohol es conocido como "espíritu".

El pueblo árabe conoció el alcohol ya que era extraído por destilación del vino, y su descubrimiento es a partir del siglo XIV atribuyéndose este hecho al sabio alquimista y profesor de medicina en Montpellier, Arnau de Villanova.

A los alcoholes se los considera derivados orgánicos del agua ya que uno de sus hidrógenos es sustituido por una cadena orgánica: H-O-H pasa a ser R-OH .

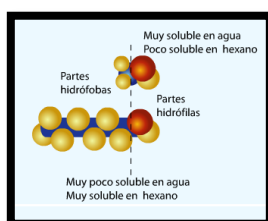
1.1.1 *Propiedades físicas de los alcoholes*

La estructura es la principal base por la que un alcohol es clasificado físicamente. Esta molécula está compuesta por un alcano que es su parte hidrofóbica y un grupo -OH correspondiente a su grupo hidrófilo.

El grupo hidroxilo proporciona a los alcoholes sus propiedades físicas características y el grupo alquilo al variar su tamaño y forma modifica sus características físicas.

El grupo hidroxilo puede generar puentes de hidrogeno con sus propias moléculas o con otras moléculas neutras. Este grupo hidroxilo es muy polar.

FIGURA 1: MOLÉCULA DE ALCOHOL



Fuente: ALCOHOL: http://www.salonhogar.net/quimica/nomenclatura_quimica/Propiedades_alcoholes.htm

Solubilidad: Para hablar de solubilidad tenemos que hacer referencia a la capacidad que tienen las moléculas de alcohol para formar puentes de hidrogeno permitiendo asociarse entre ellas; estos puentes de hidrógeno se forman cuando los oxígenos del grupo –OH forman uniones entre sus moléculas y las del agua así tenemos por ejemplo la solubilidad del metanol, etanol, 1-propanol, 2-propanol y 2 metil-2-propanol.

La solubilidad de los alcoholes disminuye al aumentar el número de carbonos en la cadena, así tenemos que a partir de una cadena de 4 carbonos la solubilidad disminuye rápidamente en agua ya que el grupo –OH sigue disminuyendo en comparación al aumento del número de carbonos del grupo alquilo. A partir del hexanol los alcoholes son solubles solo en solventes orgánicos.

Podemos mencionar alcoholes de cuatro carbonos que son solubles en agua ya que se aventajan debido a su disposición espacial porque son moléculas simétricas y moléculas con múltiples grupos hidroxilo se puede tener mayor superficie para formar puentes de hidrogeno, por lo tanto mayor solubilidad en agua.

Punto de ebullición: Vienen dados por la cantidad de puentes de hidrogeno y la polaridad del compuesto, si tenemos mayor cantidad de grupos –OH el punto de ebullición aumenta. En los alcoholes a mayor cantidad de átomos de carbono el punto de ebullición aumenta y disminuye al aumentar las ramificaciones.

Densidad: La densidad en las moléculas de alcohol aumenta al aumentar las ramificaciones y el número de carbonos de la cadena alquílica, así tenemos que los alcoholes aromáticos y con múltiples moléculas de –OH son más densos y los alcoholes alifáticos son menos densos que el agua

1.1.2 Propiedades Químicas

Los alcoholes pueden tener un comportamiento alcalino u ácido gracias al denominado efecto inductivo que ejerce el grupo hidroxilo como sustituyente sobre los carbonos adyacentes, estableciéndose un dipolo. Los alcoholes se clasifican de acuerdo al número de carbonos en: metanol, alcoholes primarios, secundarios y terciarios.

En los alcoholes primarios y el metanol el hidrogeno no se une tan firmemente al oxígeno, los protones pueden salir más fácilmente de la molécula dando una mayor acidez en estos tipos de alcohol.

1.1.3 Usos y Tipos de Alcohol

- Etanol en forma de licor.
- Etanol anhidro como aditivo de gasolina.
- Alcohol antiséptico.
- Alcohol industrial.
- Alcohol desnaturalizado.
- Etanol como combustible de lámparas y mecheros.
- Etanol como materia prima del acetaldehído, éter etílico, cloro-etano, entre otros.
- Etanol como solvente en la fabricación de fármacos, plásticos, lacas, ceras, perfumes y cosméticos en general.

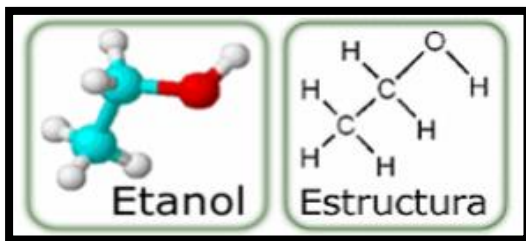
1.1.4 Etanol

El etanol o también llamado alcohol etílico se presenta de forma incolora y cuya fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$. De acuerdo al porcentaje en peso de agua presente en el etanol va a depender la pureza del mismo, y el sistema formado de agua-etanol puede ser rectificado por destilación hasta un 96%, de ahí en adelante se necesita de otras tecnologías.

Dependiendo del porcentaje del sistema agua-etanol se le da distintas aplicaciones.

Se lo puede obtener de 4 tipos de materia prima: Los productos ricos en sacarosa como la caña de azúcar y la remolacha; de fuentes ricas en almidón, como maíz, trigo, cebada y de tubérculos; de la hidrolisis de los materiales ricos en celulosa como la madera y residuos agrícolas y por origen petroquímico por la hidrolisis del etileno.

FIGURA 2: CONFIGURACIÓN ESPACIAL Y ESTRUCTURA DEL ETANOL



Fuente: ESTRUCTURA DEL ETANOL: http://organicamentefuncional.blogspot.com/2013/05/alcoholes_9.html

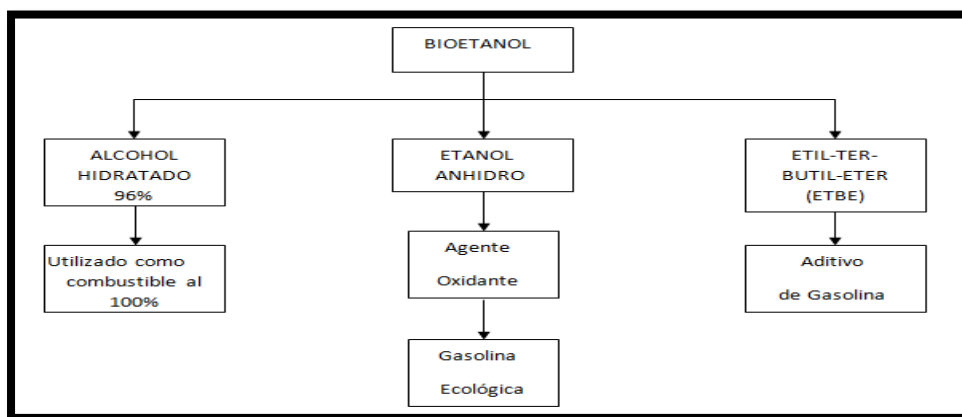
1.1.5 Principales usos del etanol

El etanol producido tiene distintos usos en una escala mundial, subdividiéndose en tres principales destinos: como combustible, uso industrial y en las bebidas.

El uso en combustibles representa un 65% de la producción mundial ya sea para mezclar o reemplazar totalmente el combustible derivado del petróleo. Un 19% abarca el sector industrial de cosméticos, farmacéutica, químicas y entre otras. Y el 16% que resta es destinado a la industria de bebidas.

Como se puede observar su aplicación más importante es en el área de los biocombustibles y para el caso de este proyecto, éste es el sector de interés, que a su vez tiene la siguiente clasificación.

FIGURA 3: USOS DEL ETANOL COMO COMBUSTIBLE



Fuente: USOS DEL ETANOL <http://syh-92-psp.blogspot.com/2008/04/biologia-petroleo-y-etanol.html>

1.1.6 Alcohol anhidro

El alcohol anhidro es el mismo etanol o alcohol etílico pero con una fracción muy baja de agua en la mezcla. Para considerarse alcohol anhidro tiene que estar en el rango de 99,50-99,99% p/p. Al tener un 0,50 % como máximo de agua, el alcohol es apto para mezclarse con gasolinas y producir un combustible oxigenado de mejor calidad que disminuye los gases de combustión, es por esta razón que al alcohol anhidro también se lo conoce como alcohol carburante.

A más de ser un aditivo de combustibles es usado en la industria farmacéutica y en análisis de laboratorios. Debido a la gran problemática ambiental el gobierno Ecuatoriano puso en marcha el plan piloto del uso de biocombustible “Ecopaís” que contiene 5% de etanol carburante en la gasolina extra.

El etanol al tener un índice de octano superior al de la gasolina representa una buena alternativa como combustible automotor, además disminuye las emisiones y gases de combustión debido a que presenta una menor presión de vapor que la gasolina común.

1.1.7 Ventajas del uso del etanol carburante

El uso de etanol como aditivo en gasolinas tiene las siguientes ventajas:

- Puede ser producido a partir de distintas fuentes renovables.
- Integra los sectores rurales con la industria, creando nuevos mercados para productos agrícolas.
- Mejora la combustión y presenta un alto índice de octano.
- Al combustionar produce menos dióxido de carbono que la gasolina.
- La mayor parte del dióxido de carbono producido se absorbe por los cultivos.
- Presenta baja toxicidad y disminuye la contaminación ambiental.

CUADRO 1: FICHA TÉCNICA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA DEL ETANOL ANHIDRO

ETANOL (ANHIDRO)		ICSC: 0044	
		Octubre 2000	
Alcohol etílico			
CAS:	64-17-5	CH ₃ CH ₂ OH / C ₂ H ₅ O	
RTECS:	K06300000	Masa molecular: 46.1	
NU:	1170		
CE Índice Anexo I:	603-002-00-5		
CE / EINECS:	200-578-6		
			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

Fuente: FICHA TÉCNICA ETANOL: <http://es.slideshare.net/josephbigboss/daa36d01>

CUADRO 2: Ficha Internacional de Seguridad Química

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Tos. Dolor de cabeza. Fatiga. Somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemazón.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Confusión. Vértigo. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Eliminar el residuo con agua abundante.		Clasificación UE Símbolo: F R: 11 S: (2-)7-16 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1170. Código NFPA: H 0; F 3; R 0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	
<div><div><div><div> International Programme on Chemical Safety</div><div> WHO</div></div><div><div> ILO</div><div> UNEP</div></div><div></div></div><div><div> MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN</div><div> INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO</div></div></div> <div>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005</div>			

Fuente: FICHA TÉCNICA ETANOL: <http://es.slideshare.net/josephbigboss/daa36d01>

1.1.8 Datos importantes

CUADRO 3: DATOS ETANOL

DATOS IMPORTANTES	
ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido incoloro, de olor característico.	VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
PELIGROS FÍSICOS: El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.	RIESGO DE INHALACIÓN: Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.
PELIGROS QUÍMICOS: Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.
LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 1000 ppm (como TWA), A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004). MAK: 500 ppm; 960 mg/m ³ ; Categoría de limitación de pico: II(2), Cancerígeno: categoría 5, Mutágeno: categoría 5, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración. Ver Notas.

Fuente: FICHA TÉCNICA ETANOL: <http://es.slideshare.net/josephbigboss/daa36d01>

1.1.9 Propiedades físicas

CUADRO 4: PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALCOHOL ETILICO ANHIDRO

PROPIEDADES FÍSICAS	
Punto de ebullición: 79°C Punto de fusión: -117°C Densidad relativa (agua = 1): 0,8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 5,8 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,03 Punto de inflamación: 13°C c.c. Temperatura de autoignición: 363°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.3-19 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.32

Fuente: FICHA TÉCNICA ETANOL: <http://es.slideshare.net/josephbigboss/daa36d01>

1.2 Deshidratación

Este proceso consiste en eliminar o remover el agua contenida en un fluido. En el caso del proceso productivo de etanol donde se obtiene a un 96% de grado alcohólico, el

proceso permite modificar la composición azeotrópica formada, logrando de esta manera obtener alcohol anhidro que cumple con las especificaciones requeridas para su uso como aditivo de la gasolina.

1.2.1 Procesos para la deshidratación de etanol

Mediante una destilación simple es imposible solucionar el problema de azeotropía que forma la mezcla agua-etanol, por lo que se ha propuesto diferentes alternativas para eliminar este azeótropo y así producir etanol con más de 96% de concentración. A continuación se describe alguna de estas alternativas.

1.2.2 Destilación azeotrópica

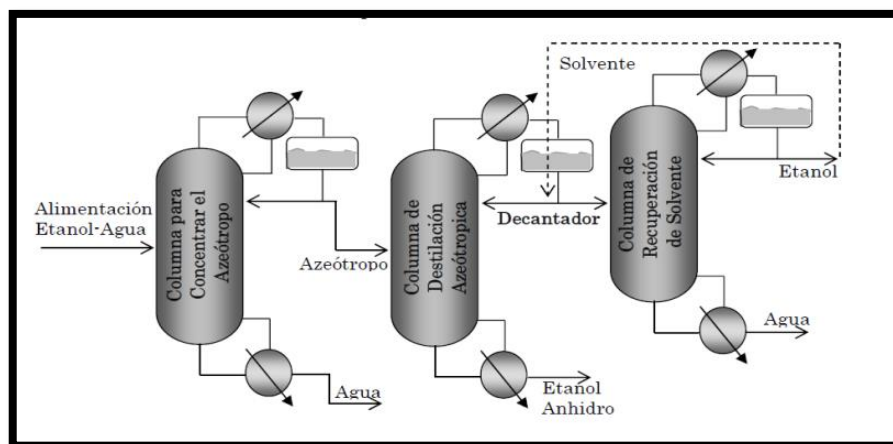
En este tipo de destilación se añade un agente arrastrador con el fin de separar un componente que se combinará con el agente de separación para formar un azeótropo con la temperatura de ebullición mínima y que se recupera entonces como destilado formándose un nuevo azeótropo.

Este equipo consta de 3 columnas: la primera es utilizada para concentrar la solución alcohólica hasta un punto cercano al azeotrópico. En la segunda columna por la parte superior se alimenta un agente de separación puede ser benceno, pentano, ciclohexano o di etil éter, obteniéndose una mezcla ternaria azeotrópica que se purga por la parte de arriba y en el fondo queda alcohol anhidro.

Los vapores que salen por arriba se condensan y transportan a la tercera columna para recuperar el solvente, después el agente arrastrador se recircula en forma continua añadiendo solvente únicamente para cubrir las pérdidas. El agente extractor se emplea una vez tras otra con una pérdida que no debe ser mayor de 0,5% del volumen de alcohol anhidro producido.

El agente de separación se lo debe seleccionar en base a criterios económicos, toxicidad, eficiencia en la separación y conservación de energía. El pentano y ciclohexano han demostrado tener los mejores resultados desde el punto de vista energético, sin embargo industrialmente son usados el pentano y el di etil éter.

FIGURA 4 DESTILADOR AZEOTRÓPICO



Fuente: TIPOS DESTILACIÓN: <http://iq.ua.es/Destilacion/apartado4.htm>

1.2.2.1 Ventajas de la Destilación Azeotrópica

- Es una tecnología disponible comercialmente a cualquier escala y con suficiente información.
- Permite la separación parcial del modificador en el tope de la columna azeotrópica, disminuyendo el costo operativo usando una nueva mezcla azeotrópica con un punto de ebullición menor.
- Existe una amplia gama de solventes extractores disponibles en el mercado.

1.2.2.2 Desventajas de la Destilación Azeotrópica

- Cualquier pérdida del modificador en las corrientes acuosas puede crear problemas ambientales.
- El proceso es difícil de operar y controlar.
- El uso de solventes orgánicos es tóxico y cancerígeno.

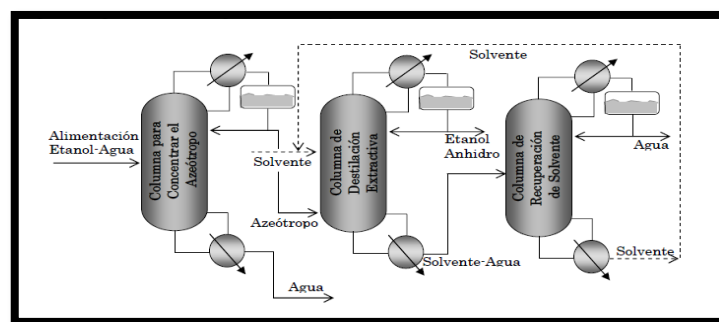
1.2.3 Destilación extractiva

En la destilación extractiva se añade un solvente generalmente cerca de la cabeza de la columna con el fin de incrementar la volatilidad relativa entre los componentes a separar, sin la formación adicional de azeótropos. Los solventes más utilizados en la destilación extractiva son los glicoles, el glicerol y la gasolina. Al igual que en la

deshidratación azeotrópica se usa 2 columnas de separación de etanol y una tercera como sistema de regeneración del solvente.

La columna 1 sirve para llevar el etanol diluido hasta una composición muy cerca de la azeotrópica, luego es alimentado en un plato intermedio de la columna 2, aquí el solvente es alimentado para aumentar la volatilidad relativa del etanol. Como producto en la cima se obtiene etanol anhidro y en los fondos se recolecta una mezcla de solvente-agua, la cual es alimentada a la columna 3 para recuperar el solvente por los fondos y devolverlo a la columna 2.

FIGURA 5 DESTILADOR EXTRACTIVO



Fuente: TIPOS DESTILACIÓN: <http://iq.ua.es/Destilacion/apartado4.htm>

1.2.3.1 *Ventajas de la Destilación Extractiva*

- Se evita la formación de un nuevo azeótropo ya que el solvente interactúa de manera más fuerte con uno de los componentes de la mezcla permitiendo la separación.
- El sistema de recuperación de solvente trabaja independientemente de la operación de la columna extractiva.
- El solvente no es inflamable en condiciones ambientales, es poco tóxico, no es corrosivo ni cancerígeno.

1.2.3.2 *Desventajas de la Destilación Extractiva*

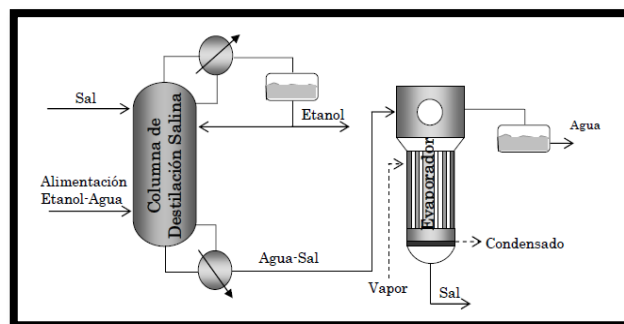
- Es complicado la selección de un solvente adecuado ya que hay que hallar uno con buena selectividad y solubilidad con la mezcla.
- La columna de recuperación tiene un gran consumo energético.

- La relación de reflujo del destilado en la columna extractiva puede presentar límites mínimos o máximos, que disminuyen el grado de separación del compuesto clave de la mezcla alimentada y conlleva a establecer un rango fijo para esta relación.

1.2.4 Destilación salina

Este tipo de destilación disminuye el número de equipos requeridos ya que consta de una sola columna donde se puede reconcentrar el alcohol con pequeñas cantidades de agente salino a un bajo costo energético y de equipos. Las sales más comunes para este proceso son el cloruro de calcio, cloruro de potasio, yoduro de potasio, cloruro de calcio y acetato de potasio, las presentes en pequeñas concentraciones pueden desplazar el azeótropo con relativa facilidad. Una desventaja clara en este tipo de destilación es que en el momento de recuperar la sal el equipo queda propenso a la corrosión.

FIGURA 6 DESTILADOR SALINO

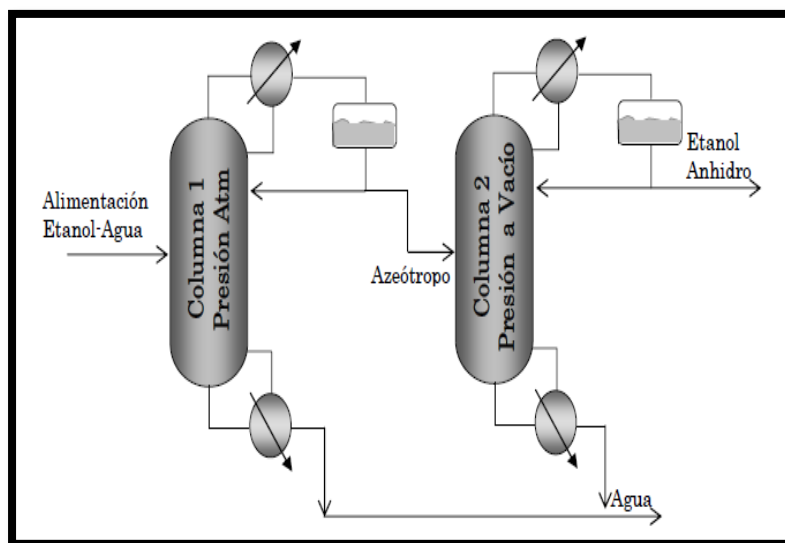


Fuente: TIPOS DESTILACIÓN: <http://iq.ua.es/Destilacion/apartado4.htm>

1.2.5 Destilación al vacío

Este sistema consta de 2 maletas consecutivas: la columna 1 se alimenta con la solución diluida para llevarla hasta una composición cercana a la azeotrópica y posteriormente la solución es llevada a la siguiente columna donde se hace vacío para deshidratar el etanol y obtener una composición cercana al 99% en volumen. El azeótropo desaparece a una presión por debajo de los 11,5 kPa, generada por el vacío pero no es económicamente factible debido a que requiere alrededor de 60 etapas y un alto reflujo con un diámetro de columna demasiado excesivo, por lo que se necesita elevados consumos energéticos.

FIGURA 7 DESTILADOR AL VACÍO



Fuente: TIPOS DESTILACIÓN: <http://iq.ua.es/Destilacion/apartado4.htm>

1.2.5.1 Ventajas de la Destilación al Vacío

- Desaparece el azeótropo permitiendo una fácil separación de la mezcla.
- El sistema consta de únicamente 2 columnas.

1.2.5.2 Desventajas de la Destilación al Vacío

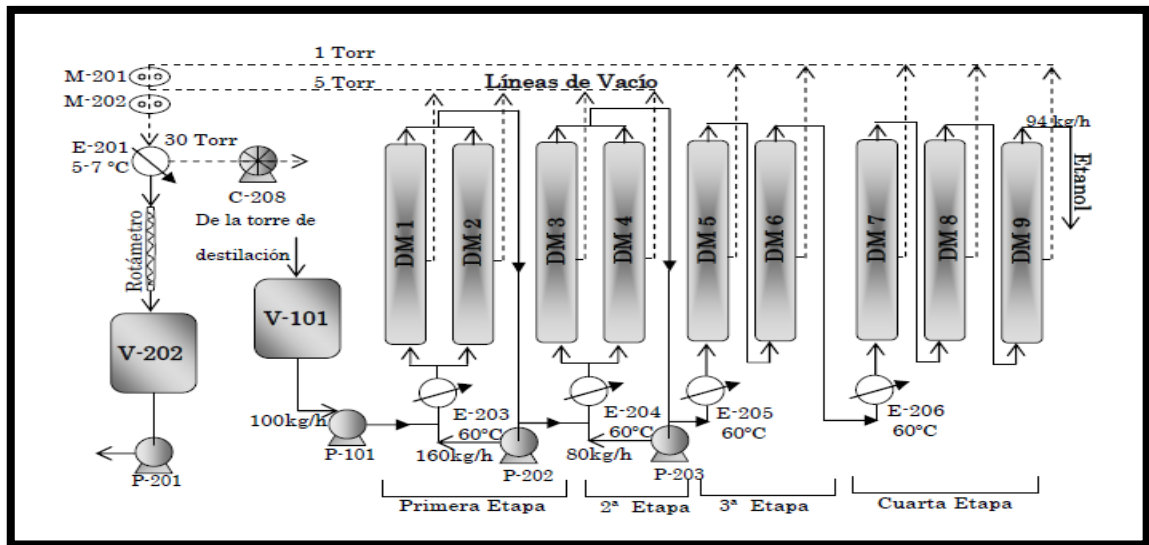
- No es económicamente factible por el requerimiento de vacío.
- Necesita elevados consumos energéticos y diámetros de columna demasiado excesivos.

1.2.6 Pervaporación

Este es un método de separación relativamente nuevo, en el cual se remueven compuestos orgánicos volátiles de mezclas acuosas a través de una membrana y que tiene elementos en común como la osmosis inversa y la separación de gases. El sistema cuenta con 9 módulos que se encuentran agrupados en 4 etapas, cada una de las cuales tiene un intercambiador de calor que lleva la solución de etanol a 60°C antes de entrar a los módulos. En las primeras 2 etapas se recircula una buena parte del etanol con el fin de evitar el enfriamiento de la solución de alimento.

La recirculación obliga que las 2 primeras etapas operen sus módulos en paralelo para poder recibir los elevados flujos que se generan. Las etapas tres y cuatro tienen módulos que operan en serie. El sistema tiene además 2 líneas de vacío de 5 torr y 1 torr, para aumentar la eficiencia de la permeabilidad. El agua se retira en forma de vapor a través de un condensador que opera entre 5 y 7°C mientras que la presión de vacío es regulada por una bomba de succión de agua a 30 torr.

FIGURA 8 PERVAPORADOR



Fuente: TIPOS DESTILACIÓN: <http://iq.ua.es/Destilacion/apartado4.htm>

1.2.6.1 Ventajas del Pervaporador

- La selectividad en la separación del etanol es alta e independiente del equilibrio de fases termodinámico, lo cual permite variar los parámetros de operación según las necesidades del proceso.
- Gran ahorro energético ya que no se necesita de procesos auxiliares para la recuperación del agente de separación.
- Genera un mínimo impacto ambiental ya que no usa solventes ni sales inorgánicas, y las membranas pueden ser recicladas.

1.2.6.2 Desventajas del Pervaporador

- Se necesita membranas de alta selectividad lo cual eleva el costo de las unidades de pervaporación.

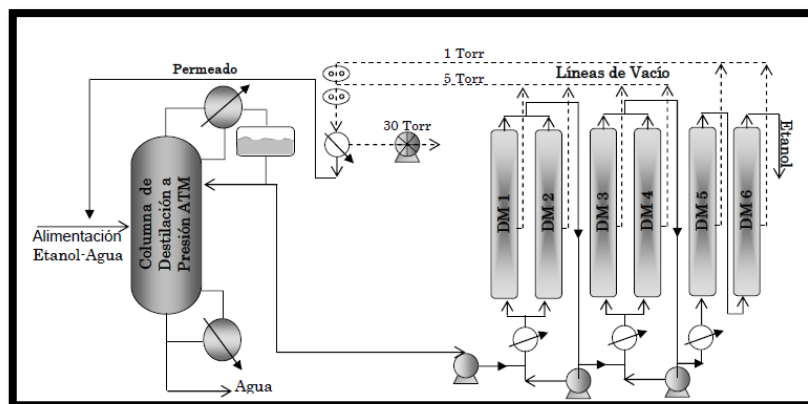
- Sus costos operativos son mayores a las demás operaciones ya que se necesita alcanzar bajas temperaturas para lograr la condensación del permeado.

1.2.7 Procesos híbridos

Para mejorar la eficiencia de la separación al menor costo posible se recurre a la combinación de procesos y técnicas. Estos procesos híbridos son tecnologías muy prometedoras para la deshidratación del etanol, en especial el sistema destilación-pervaporación que obtiene etanol al 99,5% en peso con una alimentación del 60% en peso.

El alimento se envía a la columna de destilación que opera a presión atmosférica, donde se produce por el fondo agua casi pura y un destilado rico en etanol. Posteriormente se envía el destilado a una etapa de pervaporación donde se produce un permeado y un retenido con un alcohol al 25% y 99,5% en peso, respectivamente. El vapor permeado se condensa bajo condiciones de vacío y se recircula a la columna de destilación.

FIGURA 9 DESTILADOR-PERVAPORADOR



Fuente: TIPOS DESTILACIÓN: <http://iq.ua.es/Destilacion/apartado4.htm>

1.2.7.1 Ventajas de los Procesos Híbridos

- Mejora la eficiencia de separación del azeótropo.
- Con la combinación de sistemas de tecnologías se disminuye el costo de operación.

1.2.7.2 Desventajas de los Procesos Híbridos

- Tiene un alto costo de instalación.
- Requiere de una alta automatización.

1.2.8 Absorción con tamices moleculares

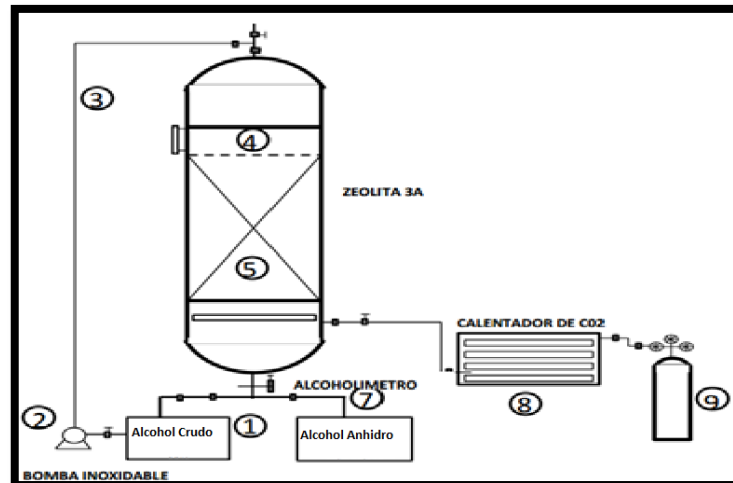
Es obvio que el objetivo de las industrias actuales es maximizar la rentabilidad disminuyendo los costos de operación, es por ello que han surgido nuevas tecnologías que cumplan con los requerimientos anteriores. La absorción de agua empleando tamices moleculares ha sido la tecnología que más se ha desarrollado en los últimos años en la industria de alcohol carburante para deshidratar el etanol y que ha venido reemplazando a la destilación azeotrópica.

Los tamices moleculares son sustancias granulares de forma cilíndrica o esférica, fabricados a partir de aluminosilicatos de potasio, el tamiz más usado en este tipo de proceso es el de zeolita A3. Para la deshidratación del etanol se usan tamices con un diámetro promedio de 3 Angstroms, la molécula de agua tiene un diámetro menor que los caminos intersticiales de este tipo de tamices mientras que la del etanol no. Las moléculas de agua invaden la estructura interior de los tamices a diferencia de las moléculas de etanol que, debido a su mayor tamaño, pasan a través del espacio entre las partículas de los tamices y abandonan el lecho sin adsorberse.

Una vez saturado el lecho del absorbente con la sustancia a separar se debe realizar la liberación de mismo por un proceso de desorción para reutilizar el material absorbente, para la regeneración del tamiz se requiere gas caliente, el más económico y fácil de manejar es el CO₂. El equilibrio agua-etanol es alterado por la presencia del tamiz lo que permite superar el punto azeotrópico. La alteración del equilibrio debido a los tamices moleculares se debe al efecto del campo de fuerza ejercido por el tamiz sobre los componentes de la mezcla. Los vapores que provienen de la desorción son eliminados al ambiente por un desgasificador. Mientras se regenera el material desecante del tamiz se cierran las válvulas del proceso y se abren las de regeneración que están ubicadas en la línea de tubería que llega al tanque de CO₂.

A nivel industrial se usan varias columnas de absorción, mientras una se regenera las otras siguen la producción.

FIGURA 10 TAMICES MOLECULARES



Fuente: TAMICES MOLECULARES: <http://Dialnet-SimulacionDeLosProcesosDeObtencionDeEtanolAPartirD-4834405.pdf>

1.2.8.1 *Ventajas de los Tamices Moleculares*

- Presenta un bajo gasto de energía.
- Es un proceso limpio y amigable con el ambiente.
- No involucra otras sustancias ajenas al proceso como arrastradores que al final quedan como trazas en el producto obtenido.

1.2.8.2 *Desventajas de los Tamices Moleculares*

- Presentan un alto costo de capital inicial de desecante.
- Requiere de una alta automatización.
- Posee una vida promedio de 5 años.

1.3 Diseño

Para llevar a cabo el dimensionamiento de un proceso de deshidratación con zeolita A3, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cantidad requerida del desecante.
- Determinación del diámetro y longitud del lecho.
- Capacidad de la caldera

1.3.1 Densidad

Es una medida de magnitud que indica el grado de compactación de un material en un espacio determinado.

1.3.1.1 Densidad de una mezcla multicomponente

$$\rho_{mezcla} = \rho_{OH}X_{OH} + \rho_{H_2O}X_{H_2O}$$

ECUACIÓN 1

Dónde:

ρ_{mezcla} = Densidad de la mezcla etanol – agua, Kg/L

ρ_{OH} = Densidad del Etanol, Kg/L

X_{OH} = Fracción del Etanol en la Mezcla

ρ_{H_2O} = Densidad del agua, Kg/L

X_{H_2O} = Fracción del Agua en la Mezcla

1.3.1.2 Densidad absoluta de la mezcla

$$\rho_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{V_{mezcla}} \quad ECUACIÓN 2$$

Dónde:

ρ_{mezcla} = Densidad de la mezcla etanol – agua, Kg/L

m_{mezcla} = Masa de la mezcla etanol – agua, Kg

V_{mezcla} = Volumen de la mezcla etanol – agua, L

1.3.1.3 Densidad absoluta de la zeolita

$$\rho_z = \frac{m_z}{V_z}$$

ECUACIÓN 3

Dónde:

ρ_z = Densidad de la zeolita, Kg/L

m_z = Masa de zeolita, Kg

V_z = Volumen de zeolita, L

Se utiliza para calcular el tamaño y/o masa de un contenedor donde se va a procesar una materia prima

1.3.2 Cantidad de zeolita A3 a emplear en el lecho

Material sintético que retiene el agua de la mezcla alcohólica con el fin de aumentar pureza.

$$m_z = \frac{m_{mezcla} * W}{f}$$

ECUACIÓN 4

Dónde:

m_z = Cantidad de Producto Seco (Zeolita), Kg.

m_{mezcla} = Masa de inicial de la mezcla, Kg

W = Porcentaje de Agua, Kg_{H₂O}/Kg_{mezcla}

f = Factor de Retención de Agua en la Zeolita, 15% en peso, Kg_{H₂O}/Kg_{zeolita}

Sirve para calcular tamaño del tamiz requerido en relación al producto utilizado, tomando en cuenta la cantidad de agua retenida por el material.

1.3.3 Volumen

Es el lugar que ocupan los cuerpos en el espacio.

1.3.3.1 Volumen de zeolita

$$V_z = \frac{\phi_z^2 * \pi * h_z}{4}$$

ECUACIÓN 5

Dónde:

V_z = Volumen de zeolita, L

ϕ_z = Diámetro del empaque interno, cm

h_z = Altura del empaque interno, cm

Utilizado para calcular el espacio que ocupará el lecho compactado de zeolita dentro del tamiz.

1.3.3.2 *Volumen externo del tamiz*

$$V_e = \frac{\phi_e^2 * \pi * h_e}{4}$$

ECUACIÓN 6

Dónde:

V_e = Volumen de la cobertura externa, L

ϕ_e = Diámetro de la cobertura externa, cm

h_e = Altura de la cobertura externa, cm

Utilizado para calcular el tamaño que deberá tener el tamiz para contener el lecho compactado de zeolita.

1.3.4 *Cantidad de agua absorbida*

1.3.4.1 *Constante k*

Número adimensional que se calcula con relación a la temperatura que se trabaja en el tamiz.

$$k = 8 \times 10^{-7} e^{\left(\frac{6014}{T_{P1}}\right)}$$

ECUACIÓN 7

Dónde:

k= Constante 1, adimensional

T_{P1} = Temperatura del alcohol en el tamiz, K

Sirve como dato para calcular la cantidad de agua retenida por el absorbente.

1.3.4.2 Constante n

Número adimensional que se calcula con relación a la temperatura que se trabaja en el tamiz.

$$n = 4,223 - \left(\frac{1050,7}{T_{P1}}\right)$$

ECUACIÓN 8

Dónde:

n= Constante 1, adimensional

T_{P1} = Temperatura del alcohol en el tamiz, K

Sirve como dato para calcular la cantidad de agua retenida por el absorbente.

1.3.4.3 Cantidad de agua absorbida

Es el número de moles de agua retenida por kilogramo de absorbente contenido en el tamiz molecular.

$$q = \frac{10k \left(\frac{P_{P1}}{1,1085 \times 10^{-4} T_{P1}} \right)^{1/n}}{1 + k \left(\frac{P_{P1}}{1,1085 \times 10^{-4} T} \right)^{1/n}}$$

ECUACIÓN 9

Dónde:

q= Cantidad de agua absorbida, mol/Kg de absorbente

k= Constante 1, adimensional

n= Constante 2, adimensional

P_{PI}= Presión del alcohol en el tamiz, bares

Sirve para cuantificar las moles de agua que se elimina de la cantidad de alcohol que pasar por el tamiz.

1.4 Experimento

1.4.1 Fórmulas de la parte experimental

1.4.1.1 Balance total de masa

Se refiere a la cantidad de flujo que ingresa, sale y/o se acumula en la operación.

$$F = W + D$$

ECUACIÓN 10

$$F_T = A + P$$

ECUACIÓN 11

$$A = 0,04F_T$$

ECUACIÓN 12

$$A = \%_{Acumulación} * F_T$$

ECUACIÓN 13

Dónde:

F= Flujo de mezcla de alimentación, Kg/h

W= Flujo de mezcla de los fondos o producto de cola, Kg/h

D= Flujo de mezcla destilada o producto de cabeza, Kg/h

F_T= Flujo de mezcla de alimentación al deshidratador, Kg/h

A= Acumulación en el tamiz, Kg/h

P= Flujo de producto deshidratado, Kg/h

Sirve para calcular la cantidad de moles o kilogramos de destilado que se obtiene en un determinado tiempo, de igual manera el producto de cola que se recoge.

1.4.1.2 *Balance de masa parcial para el alcohol*

Se refiere a los componentes que están presentes en cada corriente de entrada y salida de la operación.

$$F x_F = W x_{w-OH} + D x_{D-OH}$$

ECUACIÓN 14

$$F_T x_{FT-OH} = P x_{P-OH}$$

ECUACIÓN 15

Dónde:

F= Flujo de mezcla de alimentación, Kg/h

W= Flujo de mezcla de los fondos o producto de cola, Kg/h

D= Flujo de mezcla destilada o producto de cabeza, Kg/h

X_F= Fracción de alcohol en la alimentación, adimensional

X_{w-OH}= Fracción de alcohol en el producto de cola, adimensional

X_{D-OH}= Fracción de alcohol en el destilado, adimensional

F_T= Flujo de mezcla de alimentación al deshidratador, Kg/h

X_{FT-OH} = Fracción de alcohol en la alimentación del deshidratador, adimensional

P = Flujo de producto deshidratado, Kg/h

X_{P-OH} = Fracción de alcohol en el deshidratado, adimensional

Sirve para calcular las fracciones o porcentajes de los componentes de la mezcla en cada corriente.

1.4.1.3 Capacidad calorífica media (\overline{Cp})

Se refiere a la resistencia de un cuerpo para cambiar su temperatura

$$(\overline{Cp}) = \sum X_i C_{pi}$$

ECUACIÓN 16

Dónde:

(\overline{Cp}) = Capacidad calorífica media, Kcal/Kg°C

X_i = Fracción de cada componente de la mezcla, adimensional

C_{pi} = Capacidad calorífica de cada componente de la mezcla, Kcal/Kg°C

Sirve para calcular la capacidad calorífica de una mezcla con varios componentes.

1.4.1.4 Balance de energía en base al agua y producto

Es la igualdad de cantidad de energía entre el agua de enfriamiento y el producto enfriado.

$$\dot{Q}_{gana\ el\ agua} = -\dot{Q}_{pierde\ la\ mezcla}$$

ECUACIÓN 17

Dónde:

$\dot{Q}_{gana\ el\ agua}$ = Cantidad de calor que gana el agua de enfriamiento, Kcal/h

$\dot{Q}_{\text{pierde la mezcla}}$

= Cantidad de calor que pierde el producto a enfriarse Kcal/h

Sirve para calcular el aporte calórico que es perdido y ganado en el condensador.

1.4.1.5 Cantidad de calor

Es la cantidad de kilocalorías que se gana o pierde en un flujo y depende directamente del cambio de temperatura.

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T$$

ECUACIÓN 18

Dónde:

\dot{Q} = Cantidad de calor ganado o cedido al cabo de un tiempo, Kcal/h

\dot{m} = Flujo másico de la corriente, Kg/h

C_p = Capacidad calorífica de la mezcla o corriente, Kcal/Kg °C

ΔT = Cambio de temperatura de la corriente analizada, °C

Sirve para calcular el aporte calórico que se gana o pierde en una corriente másica al cambiar la temperatura.

1.4.1.6 Balance de energía en base al vapor de agua

Es la igualdad de cantidad de energía entre el vapor de agua que entra y sale del sistema.

$$-\dot{Q}_{\text{cede el vapor}} = \dot{Q}_{\text{gana la mezcla de alimentación}}$$

ECUACIÓN 19

Dónde:

$-\dot{Q}_{\text{cede el vapor}}$ = Cantidad de calor que cede el vapor a la mezcla, Kcal/h

$\dot{Q}_{\text{gana la mezcla de alimentación}}$ = Cantidad de calor que gana la mezcla, Kcal/h

Sirve para calcular el aporte calórico que es perdido y ganado en el precalentador.

1.4.1.7 Cálculo de entalpías

Es la cantidad de calor requerido para que la mezcla aumente en 1 °C.

$$H = \dot{m}_{mezcla} * \overline{Cp} \Delta T$$

ECUACIÓN 20

Dónde:

H= Entalpía de una corriente, kcal/h

\dot{m}_{mezcla} = Flujo másico de la mezcla a tratarse, Kg/h

\overline{Cp} = Capacidad calorífica media de la corriente, Kcal/Kg°C

ΔT = Cambio de temperatura de la corriente, °C

Sirve para calcular la cantidad de kcal que son necesarias para aumentar la temperatura de la mezcla a tratarse en la operación.

1.4.1.8 Rendimiento

Hace referencia a la cantidad de producto obtenido en base a la cantidad de materia prima que ingresa.

$$R = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}} * 100\%$$

ECUACIÓN 21

Dónde:

R= Rendimiento del equipo, porcentaje.

V_{salida} = Cantidad de volumen obtenido de producto, L.

$V_{entrada}$ = Cantidad de volumen ingresado en la alimentación, L.

Sirve para calcular el porcentaje que expresa la cantidad de producto que se recoge.

1.4.1.9 Eficiencia

Hace referencia al equipo, es decir al consumo del suministro de energía usado para realizar la operación y obtener el producto.

$$E = \frac{Q_{entra} - Q_{sale}}{Q_{entra}} * 100\%$$

ECUACIÓN 22

Donde:

E= Eficiencia del equipo, porcentaje

Q_{entra} = Cantidad de calor que ingresa a la operación, Kcal/h

Q_{sale} = Cantidad de calor que sale de la operación, Kcal/h

Sirve para calcular, en función de porcentaje, la cantidad de calor consumido para producir una cierta cantidad de producto.

1.4.1.10 Calor Perdido

Es la cantidad de kilocalorías que sale del sistema o que se ha perdido durante la operación.

$$Q_{sale} = \Delta H = H_2 - H_1$$

ECUACIÓN 23

Dónde:

Q_{sale} = Cantidad de calor que sale o se pierde, Kcal/h

H_2 = Entalpía final, Kcal/h

H_1 = Entalpía inicial, Kcal/h

Sirve para calcular la cantidad de kilocalorías que se pierde en el sistema de operación y poder llegar al cálculo de la eficiencia del equipo.

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Muestreo

Para llevar a cabo la Operación Unitaria de deshidratación del etanol y obtener alcohol carburante se realizó la recolección y elección adecuada de etanol artesanal proveniente de sustancias fermentables permitidas.

El método de muestreo utilizado fue de tipo aleatorio, en dos locales del mercado popular Santa Rosa de la ciudad de Riobamba, los alcoholes son provenientes de la ciudad del Puyo y Bucay respectivamente. En el local número 1 se midió el grado alcohólico de 5 muestras en 5 días distintos, teniendo como resultado 55°GL, 55°GL, 55°GL, 50°GL, 50°GL.

En el local número 2 se realizó el mismo muestreo en los mismos días, teniendo como resultado 50°GL, 50°GL, 50°GL, 50°GL, 50°GL.

Con estos resultados del muestreo se ha decidido adquirir el alcohol proveniente de la ciudad de Puyo que es expendido en el local número 1 del mercado popular Santa Rosa.

2.2 Metodología

2.2.1 Métodos Y Técnicas

2.2.1.1 *Métodos*

El presente estudio de este proyecto de investigación tiene un carácter explicativo y experimental para obtener apropiadamente la metodología adecuada a través de la implementación del proyecto de diseño, selección y aplicación de todas las herramientas y componentes necesarios para la deshidratación del etanol, en respuesta a las posibles interrogantes que se puedan presentar en el transcurso del deshidratado.

2.2.1.1.1 *Método Inductivo*

Este método parte desde lo más simple a lo más complejo, a partir del muestreo en dos locales distintos del mercado popular Santa Rosa en la ciudad de Riobamba, y a través de los ensayos de destilación que se llevaron a cabo en el laboratorio de procesos industriales, se logró determinar el grado alcohólico con el que partiremos para realizar el diseño del deshidratador, posteriormente por medio de cálculos en una hoja de Excel se obtuvo la altura y volumen que deberá tener el tamiz y la cantidad de zeolita A3 a emplear en el lecho, gracias a las especificaciones técnicas obtuvimos las temperaturas y presiones necesarias para su correcto funcionamiento.

2.2.1.1.2 *Método Deductivo*

Mediante especificaciones técnicas de nuestro desecante obtuvimos las temperaturas y presiones necesarias para su correcto funcionamiento, con la ayuda de cálculos en una hoja de Excel conseguimos la altura y volumen que deberá tener el tamiz y la cantidad de zeolita A3. Gracias a ensayos de destilación realizados en el Laboratorio de Procesos Industriales se determinó el grado alcohólico con el cual partiremos para la deshidratación. El alcohol crudo se obtuvo muestreando dos locales del mercado de Santa Rosa de la ciudad de Riobamba

2.2.1.2 *Técnicas*

Las técnicas utilizadas fueron:

- Simulación
- Observancia

2.2.1.3 Cantidad de zeolita a3 a utilizarse

TABLA 1 CANTIDAD DE ZEOLITA A3 A UTILIZARSE

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
El objetivo de la deshidratación es obtener un alcohol con menor porcentaje de agua, para esto utilizamos en este caso particular un desecante llamado zeolita A3.	Alcoholímetro Tablas de propiedades físicas del alcohol y agua.	Determinar la densidad de la mezcla etanol-agua. Determinar la cantidad del volumen de mezcla a utilizar. Calcular la masa de la mezcla. Medir el grado alcohólico del alcohol crudo. Determinar el porcentaje de agua a eliminar. Aplicar la fórmula.	Densidad de la Mezcla: $\rho_{mezcla} = \rho_{OH} X_{OH} + \rho_{H_2O} X_{H_2O}$ <p>Dónde:</p> <p>ρ_{mezcla}= densidad de la mezcla etanol-agua. ρ_{OH}= densidad del alcohol. X_{OH}= fracción de alcohol en la mezcla. ρ_{H_2O}= densidad del agua. X_{H_2O}= fracción de agua en la mezcla.</p> <p>Cantidad de zeolita necesaria:</p> $m_z = \frac{m_{Mezcla} * W}{f}$ <p>Dónde:</p> <p>m_z= Masa de zeolita (kg) m_{mezcla}= Masa de la mezcla etanol-agua. W= Porcentaje de agua en la mezcla Kg_{H_2O}/Kg_{mezcla} f= Factor de retención de agua (4 al 20%)</p>

Fuente: BRITO H., Técnica Guía Laboratorio Operaciones Unitarias./ ESPOCH/2014

2.2.1.4 Dimensionamiento del reactor de absorción

TABLA 2 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR DE ABSORCIÓN

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
Necesitamos 8kg de Zeolita A3 cuyo volumen corresponde a 7L, por tanto asumimos un diámetro coherente de 11cm y calculamos la altura.	Flexómetro. Pie de rey.	Se trabaja con una masa de zeolita A3 de 8 Kg debido a los cálculos antes realizados. Se calcula el volumen de zeolita A3 a utilizarse. Se asume el diámetro de 11cm, para calcular la altura.	Volumen de la Zeolita. $V_z = \frac{m_z}{\rho_z}$ <p><i>Dónde:</i> V_z = Volumen de la Zeolita A3. m_z = Masa de la zeolita A3. ρ_z = densidad de la Zeolita A3. Altura y diámetro del empaque interno y la cobertura externa.</p> $V = \frac{\phi_z^2 * \pi * h}{4}$ <p><i>Dónde:</i> V = Volumen. ϕ = diámetro.</p>

Fuente: BRITO H., Técnica Guía Laboratorio Operaciones Unitarias./ ESPOCH/2014

2.2.1.5 Rendimiento del equipo

TABLA 3 RENDIMIENTO DEL EQUIPO

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
El objetivo de obtener un alcohol anhidro es que su porcentaje de pureza sea igual o superior al 99,5%, eliminando toda el agua posible.	<p>Alcoholímetro.</p> <p>Cronómetro.</p> <p>Probeta</p> <p>Alcohol crudo.</p> <p>Tamiz de deshidratación.</p>	<p>Medir el volumen y grado alcohólico de la mezcla etanol-agua, para alimentar el reboiler del destilador.</p> <p>Recoger el producto deshidrado después de pasar por el condensador del deshidratador.</p> <p>Medir el grado alcohólico.</p> <p>Una vez consumido el volumen del reboiler, medir el volumen obtenido de la deshidratación.</p>	<p>Porcentaje de rendimiento del equipo.</p> $R = \frac{V_f}{V_i}$ <p>Dónde:</p> <p>R = Rendimiento del equipo</p> <p>V_i= Volumen inicial (Reboiler del Destilador)</p> <p>V_f = Volumen final (Salida del condensador)</p>

Fuente: BRITO H., Técnica Guía Laboratorio Operaciones Unitarias./ ESPOCH/2014

2.3 Datos de Diseño

2.3.1 Diagnóstico

El diseño y construcción de un deshidratador por absorción con tamices moleculares ha impulsado el estudio de ésta innovadora tecnología para la deshidratación del etanol llegando a las condiciones de alcohol carburante 99,5% en peso, pureza necesaria para oxigenar la gasolina y contribuir de una manera amigable al ambiente con la reducción de emisiones de los gases de combustión.

Para el diseño del equipo de deshidratación obtuvimos los datos basados en simulaciones computarizadas para identificar las variables operativas del proceso. Estos datos podemos observarlos a continuación:

2.3.2 Datos

2.3.2.1 Etanol 90 % P/P

TABLA 4 DATOS PARA OBTENER LA MASA REAL DE ZEOLITA

N.-	ρ_{OH} (Kg/L)	X_{OH}	ρ_{H_2O} (Kg/L)	X_{H_2O}	V_{mezcla} (L)	W(%)	f seguridad (%)
1	0,79	0,90	0,99	0,10	20	10	15

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

2.3.2.2 Etanol 92 % P/P

TABLA 5 DATOS PARA OBTENER LA MASA REAL DE ZEOLITA

N.-	ρ_{OH} (Kg/L)	X_{OH}	ρ_{H_2O} (Kg/L)	X_{H_2O}	V_{mezcla} (L)	W(%)	f seguridad (%)
1	0,79	0,92	0,99	0,08	20	8	15

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

2.3.2.3 Etanol 96% P/P

TABLA 6 DATOS PARA OBTENER LA MASA REAL DE ZEOLITA

N.-	ρ_{OH} (Kg/L)	X_{OH}	ρ_{H_2O} (Kg/L)	X_{H_2O}	V_{mezcla} (L)	W(%)	f seguridad (%)
1	0,79	0,96	0,99	0,04	20	4	15

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

2.3.2.4 Tamiz molecular

TABLA 7 DATOS PARA OBTENER LA ALTURA DEL LECHO INTERNO DE ZEOLITA Y VOLUMEN DEL TAMIZ

N.-	$\rho_{zeolita}$ (Kg/L)	$\phi_{asumido}$ (cm)	π
1	1,16	11	3,14159

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

2.3.2.5 Destilado alcohol crudo (50 % p/p)

TABLA 8 DATOS PARA EL PROCESO DE DESTILADO

N.-	ρ_{OH} (Kg/L)	$X_{inicial\ OH}$	$X_{final\ OH}$	ρ_{H_2O} (Kg/L)	X_{H_2O}	$V_{inicial}$ (L)	V_{final} (L)	$C_{p\ agua}$ (Kcal/Kg°C)	$C_{p\ alcohol}$ (Kcal/Kg°C)
1	0,79	0,50	0,89	0,99	0,50	30	19	1	0,6

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

TABLA 9 DATOS DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE DESTILADO

N.-	T_{a1}	T_{a2}	T_{D1}	T_{D2}	T_{S1}	T_{S2}	T_{F1}	T_{F2}	T_{W2}
1	20,8	29	80	24	144,6	86	16	82	50,2

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

2.3.2.6 Deshidratado de alcohol destilado (89%)

TABLA 10 DATOS PARA EL PROCESO DE DESHIDRATADO

N.-	ρ_{OH} (Kg/L)	$X_{inicial\ OH}$	$X_{final\ OH}$	ρ_{H_2O} (Kg/L)	X_{H_2O}	$V_{inicial}$ (L)	V_{final} (L)	$C_{p\ agua}$ (Kcal/Kg°C)	$C_{p\ alcohol}$ (Kcal/Kg°C)	$C_{p\ steam}$ (Kcal/Kg°C)
1	0,79	0,89	0,96	0,99	0,11	19	5	1	0,6	0,48

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

TABLA 11 DATOS DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE DESHIDRATADO

N.-	T _{a1}	T _{a2}	T _{FT1}	T _{FT2}	T _{S1}	T _{S2}	T _{P1}	T _{P2}
1	19	27	85	120	141,5	80	125	13

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

2.3.2.7 Deshidratado de alcohol potable (96%)

TABLA 12 DATOS PARA EL PROCESO DE DESHIDRATADO

N.-	ρ_{OH} (Kg/ L)	X _{inicial OH}	X _{final OH}	ρ_{H_2O} (Kg/ L)	X _{H₂O}	V _{inicial} (L)	V _{final} (L)	C _p agua (Kcal/Kg°C)	C _p alcohol (Kcal/Kg°C)	C _p steam (Kcal/Kg°C)
1	0,79	0,96	0,995	0,99	0,005	30	5	1	0,6	0,48

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

TABLA 13 DATOS DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE DESHIDRATADO

N.-	T _{a1}	T _{a2}	T _{FT1}	T _{FT2}	T _{S1}	T _{S2}	T _{P1}	T _{P2}
1	20	28	85		134,45	80	114	15

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

2.3.2.8 Tablas de datos experimentales del deshidratador en la validación del equipo

TABLA 14 DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE P.P.I.I.

Precalentador			Tamiz			Producto
t (min)	T (°C)	P (psi)	V (mL)	T (°C)	P (psi)	°GL
0	25	2	500	20	2	90
5	100	30	750	90	10	96
10	120	40	1000	115	20	96
15	120	40	1500	125	15	96,5
20	120	40	2000	125	13	96
25	120	40	3500	125	13	96
30	120	40	5000	125	13	96

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

2.3.2.9 Tablas de datos experimentales del deshidratador previo a la validación

TABLA 15 DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE P.P.I.I.

Precalentador			Tamiz			Producto
t (min)	T (°C)	P (psi)	t (min)	T (°C)	P (psi)	°GL
0	20	30	0	20	2	97,0
3	60	31	3	60	6	98,0
6	100	32	6	90	12	98,5
9	130	32	9	114	15	99,5
12	130	32	12	114	15	99,5
15	130	32	15	114	15	99,5
18	130	32	18	114	15	99,5
21	130	32	21	114	15	99,5
24	130	32	24	114	15	99,5
27	130	32	27	114	15	99,5
30	130	32	30	114	15	99,5
33	130	32	33	114	15	99,5
36	130	32	36	114	15	99,5
38	130	32	38	114	15	96
40	130	32	40	114	15	96

Fuente: ARELLANO, A.; RIOFRÍO, L. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2014

CAPITULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Cálculos Ideales

3.1.1 Cantidad de zeolita a3 a emplear en el lecho

3.1.1.1 Densidad de la mezcla etanol-agua 90% de pureza

De la Ec. 1.3.1-1 y datos de la tabla 2.3.2.1-1

$$\rho_{mezcla} = \rho_{OH}X_{OH} + \rho_{H_2O}X_{H_2O}$$

$$\rho_{mezcla} = 0,79 (0,90) + 0,99(0,10)$$

$$\rho_{mezcla} = 0,810 \text{ Kg/L}$$

3.1.1.2 Masa de la mezcla etanol-agua

De la Ec. 1.3.1-2 y datos de la tabla 2.3.2.1-1

$$\rho_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{V_{mezcla}}$$

$$0,810 = \frac{m_{mezcla}}{20}$$

$$m_{mezcla} = 16,2 \text{ Kg}$$

3.1.1.3 Densidad de la mezcla etanol-agua 96% de pureza

De la Ec. 1 y datos de la tabla 5

$$\rho_{mezcla} = \rho_{OH}X_{OH} + \rho_{H_2O}X_{H_2O}$$

$$\rho_{mezcla} = 0,79 (0,96) + 0,99(0,04)$$

$$\rho_{mezcla} = 0,798 \text{ Kg/L}$$

3.1.1.4 Masa de la mezcla etanol-agua 96% de pureza

De la Ec. 2 y datos de la tabla 6

$$\rho_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{V_{mezcla}}$$

$$0,798 = \frac{m_{mezcla}}{20}$$

$$m_{mezcla} = 15,96 \text{ Kg}$$

3.1.1.5 Cantidad mínima ideal de zeolita

Usando como materia prima etanol al 96% eliminaremos el 4% de agua, entonces de la Ec. 4 y tabla de datos 6, tenemos

$$m_{z\text{mín}} = \frac{m_{mezcla} * W_{4\%}}{f}$$

$$m_{z\text{mín}} = \frac{15,96 * 0,04}{0,15}$$

$$m_{z\text{mín}} = 4,26 \text{ Kg}_{zeolita}$$

3.1.1.6 Cantidad máxima ideal de zeolita

Usando como materia prima etanol al 90% eliminaremos el 10% de agua, entonces de la Ec. 4 y tabla de datos 6, tenemos

$$m_{z\text{max}} = \frac{m_{mezcla} * W_{10\%}}{f}$$

$$m_{z\text{max}} = \frac{16,2 * 0,10}{0,15}$$

$$m_{z\max} = 10,8 \text{ Kg}_{\text{Zeolita}}$$

Con estos datos obtenidos concluimos que se puede trabajar con una masa promedio de zeolita de 8 Kg.

3.1.2 Tamiz de absorción

3.1.2.1 Lecho interno

3.1.2.1.1 Volumen

De la Ec. 2 y resultados del punto 3.1.1.4

$$\rho_z = \frac{m_z}{V_z}$$

$$V_z = \frac{m_z}{\rho_z}$$

$$V_z = \frac{8}{1,14}$$

$$V_z = 7,0 \text{ L}$$

3.1.2.2 Diámetro y altura del empaque interno de zeolita

De la Ec. 5, la tabla de datos 7 y resultados del punto 3.1.2.1.1

$$V_z = r_z^2 * \pi * h_z$$

$$7000 = (11/2)^2 * \pi * h_z$$

$$h_z = 73,66 \text{ cm}$$

3.1.2.3 Cobertura externa

3.1.2.4 Diámetro y altura de la cobertura externa

Por facilidad de diseño dejamos 15cm de altura en la parte superior e inferior del tamiz para que ingrese y salga el vapor de alcohol a deshidratar, y 5 centímetros entre el lecho y la malla del tamiz.

3.1.2.5 *Volumen*

De la Ec. 5, la tabla de datos 7 y resultados del punto 3.1.2.1.2

$$V_e = r_e^2 * \pi * h_e$$

$$V_e = (11/2)^2 * \pi * (73,66 + 15 + 15 + 5)$$

$$V_e = 10326,3 \text{ cm}^3$$

Para contener los 7 litros de zeolita necesitamos un cilindro de 10L, con un diámetro de 11 cm y una altura de 108,66 cm.

3.2 **Cálculos Reales de Diseño**

3.2.1 ***Cantidad de zeolita a3 a emplear en el lecho***

3.2.1.1 *Densidad de la mezcla de alimentación*

De la Ec. 1 y tabla de datos 5

$$\rho_{mezcla} = \rho_{OH}X_{OH} + \rho_{H_2O}X_{H_2O}$$

$$\rho_{mezcla} = 0,79 * 0,92 + 0,99 * 0,08$$

$$\rho_{mezcla} = 0,806 \text{ Kg/L}$$

3.2.1.2 *Masa de la mezcla de alimentación*

De la Ec. 2, tabla de datos 5 y resultados del punto 3.2.1.1

$$\rho_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{V_{mezcla}}$$

$$m_{mezcla} = 20 * 0,806$$

$$m_{mezcla} = 16,12 \text{Kg}$$

3.2.1.3 Masa de zeolita A3 a emplear en el lecho

De la Ec. 4, tabla de datos 5 y resultados del punto 3.2.1.2

$$m_z = \frac{m_{Mezcla} * W}{f}$$

$$m_z = \frac{16,12 * 8}{15}$$

$$m_z = 8,5 \text{ Kg de Zeolita}$$

3.2.2 Lecho Interno

3.2.2.1 Volumen

De la Ec. 3, tabla de datos 6 y resultados del punto 3.2.1.2

$$\rho_z = \frac{m_z}{V_z}$$

$$V_z = \frac{8,5}{1,16}$$

$$V_z = 7,32 \text{ L}$$

3.2.2.2 Diámetro y altura

De la Ec. 5, tabla de datos 7 y resultados del punto 3.2.2.1

$$V_z = \frac{\phi_z^2 * \pi * h_z}{4}$$

$$h_z = \frac{4 * 7,32}{3,1416 * 11^2}$$

$$h_z = 100 \text{ cm}$$

3.2.3 Cobertura Externa

3.2.3.1 Diámetro y altura

Asumimos los 15 centímetros en la parte superior e inferior para el ingreso y salida del alcohol y 5 centímetros entre el lecho interno y la malla.

3.2.3.2 Volumen

De la Ec. 5, tabla de datos 7 y resultados del punto 3.2.3.2

$$V_e = \frac{\phi_e^2 * \pi * h_e}{4}$$

$$V_e = \frac{11^2 * \pi * (100 + 15 + 15 + 5)}{4}$$

$$V_e = 12,83 \text{ L}$$

3.3 Cálculos Experimentales

3.3.1 Práctica de laboratorio durante la validación

3.3.1.1 Destilado (alcohol crudo 50 °gl)

3.3.1.2 Cálculo de la densidad de la mezcla agua-etanol

De la Ec. 1 y tabla de datos 8

$$\rho_{\text{mezcla inicial}} = \rho_{\text{OH}} X_{\text{OH}} + \rho_{\text{H}_2\text{O}} X_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\rho_{\text{mezcla inicial}} = 0,79 * 0,50 + 0,99 * 0,50$$

$$\rho_{\text{mezcla inicial}} = 0,89 \text{ Kg/L}$$

$$\rho_{\text{mezcla final}} = 0,79 * 0,89 + 0,99 * 0,11$$

$$\rho_{\text{mezcla final}} = 0,812 \text{ Kg/L}$$

3.3.1.3 Cálculo de la masa de la mezcla alcohol-agua

De la Ec. 3, tabla de datos 8 y resultados del punto 3.3.1.1.1

$$\rho_{\text{mezcla}} = \frac{m_{\text{mezcla}}}{V_{\text{mezcla}}}$$

$$m_{\text{mezcla inicial}} = 0,89 * 30$$

$$m_{\text{mezcla inicial}} = 26,7 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{mezcla final}} = 0,812 * 19$$

$$m_{\text{mezcla final}} = 15,4 \text{ Kg}$$

3.3.1.4 Cálculo del balance de masa

De la Ec. 10 y datos del punto 3.3.1.1.2

$$F = W + D$$

$$26,7 = W + 15,4$$

$$W = 11,30 \text{ Kg/h}$$

3.3.1.5 Cálculo del balance de masa parcial para el alcohol

De la Ec. 14, tabla de datos 8, resultados del punto 3.3.1.1.2 y del porcentaje de grado alcohólico obtenido experimentalmente (89%).

$$F x_F = W x_{w-OH} + D x_{D-OH}$$

$$26,7 * 0,50 = 0,89 D$$

$$D = 15 \text{ Kg}$$

3.3.1.6 Cálculo de la capacidad calorífica media($\overline{C_p}$)

De la Ec. 14 y la tabla de datos 8

$$(\overline{Cp}) = \sum X_i C_{pi}$$

$$(\overline{Cp})_{inicial} = 0,5 * 1 + 0,5 * 0,6$$

$$(\overline{Cp})_{inicial} = 0,8 \frac{Kcal}{Kg \text{ } ^\circ C}$$

$$(\overline{Cp})_{final} = 0,11 * 1 + 0,89 * 0,6$$

$$(\overline{Cp})_{final} = 0,644 \frac{Kcal}{Kg \text{ } ^\circ C}$$

3.3.1.7 Balance para el condensador:

De la Ec. 17 y **Ec. 18**, tabla de datos 9, y resultados de los puntos 3.3.1.1.2 y 3.3.1.1.5

$$\dot{Q}_{\text{gana el agua}} = -\dot{Q}_{\text{pierde la mezcla}}$$

$$\dot{Q} = \Delta \dot{H} = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}} (T_{a2} - T_{a1}) = -\dot{m}_{\text{mezcla}} \overline{Cp} (T_{D2} - T_{D1})$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} * 1 * (29 - 20,8) = -15,4 * 0,644 (24 - 80)$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 67,73 \text{ Kg/h}$$

3.3.1.8 Cálculo del calor suministrado:

De la Ec.19 y **Ec. 18**, tabla de datos 9 y 10 y resultados de los puntos 3.3.1.1.2

$$-\dot{Q}_{\text{cede el vapor}} = \dot{Q}_{\text{gana la mezcla de alimentación}}$$

$$-\dot{m}_{\text{steam}} C_{p_{\text{steam}}} (T_{s2} - T_{s1})$$

$$= \dot{m}_{\text{mezcla}} \overline{Cp} (T_{F2} - T_{F1})$$

$$-\dot{m}_{\text{steam}} 0,48 (86 - 144,6)$$

$$= 26,7 * 0,80 (82 - 16)$$

$$\dot{m}_{\text{steam}} = 50,1 \text{ Kg/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{entra}} = \dot{m}_{\text{steam}} C_{p_{\text{steam}}} (T_{s2} - T_{s1})$$

$$\dot{Q}_{entra} = 62,4 * 0,48 (86 - 144,6)$$

$$\dot{Q}_{entra} = -1409,2 \text{ Kcal/h}$$

El signo negativo indica que el calor que entra tiende a disminuir cediendo al agua.

3.3.1.9 *Cálculo de la entalpía de alimentación:*

De la Ec. 20, de la tabla de datos 9 y resultados de los puntos 3.3.1.1.2 y 3.3.1.1.5

$$H_F = \dot{m}_{mezcla\ inicial} * \overline{C_p} \Delta T$$

$$H_F = 26,7 * 0,80 * (82 - 16)$$

$$H_F = 1409, \text{ Kcal/h}$$

3.3.1.9.1 *Cálculo de la entalpía del destilado*

De la Ec. 20, de la tabla de datos 9 y resultados de los puntos 3.3.1.1.2 y 3.3.1.1.5

$$H_D = \dot{m}_{mezcla\ final} * \overline{C_p} \Delta T$$

$$H_D = 15,4 * 0,644(24 - 80)$$

$$H_D = -555,39 \text{ Kcal/h}$$

El signo negativo indica que se está disminuyendo la temperatura.

3.3.1.10 *Cálculo de la entalpía del residuo*

De la Ec. 20, de la tabla de datos 8 y 9, y resultados de los puntos 3.3.1.1.3

$$H_W = \dot{m}_w * C_{p_{agua}} \Delta T$$

$$H_W = 11,3 * 1(50,2 - 16)$$

$$H_W = 422,62 \text{ Kcal/h}$$

3.3.1.11 *Cálculo del rendimiento de la columna*

De la Ec. 21 y de la tabla de datos 8 y 10

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{19}{30} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 63,33\%$$

3.3.1.12 *Cálculo del calor perdido*

De la Ec. 23 y resultados de los puntos 3.3.1.1.8 y 3.3.1.1.9

$$Q_{\text{sale}} = \Delta H = H_W + H_D - H_F$$

$$Q_{\text{sale}} = \Delta H = 422,62 + 555,39 - 1409$$

$$Q_{\text{sale}} = -431 \text{ Kcal/h}$$

El signo negativo indica que se está perdiendo calor, o que es de salida.

3.3.1.13 *Cálculo de la eficiencia del equipo:*

De la Ec. 22 y resultados de los puntos 3.3.1.1.7 y 3.3.1.1.12

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q_{\text{entra}} - Q_{\text{sale}}}{Q_{\text{entra}}} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{1409,2 - 431}{1409,2} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 70\%$$

3.3.1.14 *Deshidratado (Alcohol Destilado 89 °Gl)*

3.3.1.15 *Cálculo de la densidad de la mezcla agua-etanol*

De la Ec. 1 y tabla de datos 10

$$\rho_{mezcla} = \rho_{OH}X_{OH} + \rho_{H_2O}X_{H_2O}$$

$$\rho_{mezcla\ inicial} = 0,79 * 0,89 + 0,99 * 0,11$$

$$\rho_{mezcla\ inicial} = 0,812\text{ Kg/L}$$

$$\rho_{mezcla\ final} = 0,79 * 0,96 + 0,99 * 0,04$$

$$\rho_{mezcla\ final} = 0,798\text{ Kg/L}$$

3.3.1.16 *Cálculo de la masa de la mezcla alcohol-agua*

De la Ec. 2, tabla de datos 10 y resultados de los puntos 3.3.1.2.1

$$\rho_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{V_{mezcla}}$$

$$m_{mezcla\ inicial} = 0,812 * 19$$

$$m_{mezcla\ inicial} = 15,43\text{ Kg}$$

$$m_{mezcla\ final} = 0,798 * 5$$

$$m_{mezcla\ final} = 4\text{ Kg}$$

3.3.1.17 *Cálculo de la capacidad calorífica media(\overline{Cp})*

De la Ec. 16, tabla de datos 8 y 10

$$(\overline{Cp}) = \sum X_i C_{pi}$$

$$(\overline{Cp})_{inicial} = 0,11 * 1 + 0,89 * 0,6$$

$$(\overline{Cp})_{inicial} = 0,644 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

$$(\overline{Cp})_{final} = 0,04 * 1 + 0,96 * 0,6$$

$$(\overline{Cp})_{final} = 0,62 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

3.3.1.18 *Balance de energía en el pre-calentador*

De la Ec.19 y Ec. 18, tabla de datos 8 y 11

$$-\dot{Q}_{\text{cede el vapor}} = \dot{Q}_{\text{gana la mezcla de alimentación}}$$

$$-\dot{m}_{\text{steam}} C_{p_{\text{steam}}} (T_{s2} - T_{s1}) = \dot{m}_{\text{mezcla}} \bar{C}_p (T_{FT2} - T_{FT1})$$

$$-\dot{m}_{\text{steam}} 0,48 (80 - 141,5) = 15,43 * 0,644 (120 - 85)$$

$$\dot{m}_{\text{steam}} = 11,78 \text{Kg/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{entrada}} = \dot{m}_{\text{steam}} C_{p_{\text{steam}}} (T_{s2} - T_{s1})$$

$$\dot{Q}_{\text{entrada}} = 11,78 * 0,48 (80 - 141,5)$$

$$\dot{Q}_{\text{entrada}} = -347,74 \text{ Kcal/h}$$

El signo negativo indica que se está cediendo calor.

3.3.1.19 Balance para el tamiz

De la Ec. 11 y resultados de los puntos 3.3.1.2.2 y 3.3.1.2.6

$$F_T = A + P$$

$$P = 15,43 - 0,617$$

$$P = 14,8 \text{Kg/h}$$

3.3.1.20 Cálculo teórico de la acumulación (4%)

De la Ec. 12, tabla de datos 6 y resultados de los puntos 3.3.1.2.2

$$A = 0,04 F_T$$

$$A = 0,04 * 15,43$$

$$A = 0,617 \text{Kg/h}$$

3.3.1.21 Balance para el alcohol

De la Ec. 15, tabla de datos 10 y resultado de los puntos 3.3.1.2.5 y 3.3.1.2.2

$$F_T x_{FT-OH} = P x_{P-OH}$$

$$15,43 * 0,89 = 14,8 x_{P-OH}$$

$$x_{P-OH} = 0,93$$

Teóricamente se obtendría un alcohol deshidratado de 93%, pero en la práctica se llegó a obtener una muestra máxima de 96,5% y un promedio de 96%, gracias al buen control de las variables de proceso de presión y temperatura.

3.3.1.22 *Cálculo real de la acumulación*

De la Ec. 15 Ec. 11 y Ec. 13, tabla de datos 10 y resultados de los puntos 3.3.1.2.2

$$F_T x_{FT-OH} = P x_{P-OH}$$

$$15,43 * 0,89 = P * 0,96$$

$$P = 14,3 \text{ Kg/h}$$

$$F_T = A + P$$

$$A = 15,43 - 14,3$$

$$A = 1,13 \text{ Kg/h}$$

$$A = \%_{\text{Acumulación}} * F_T$$

$$\%_{\text{Acumulación}} = \frac{1,13}{15,43} * 100$$

$$\%_{\text{Acumulación}} = 7,32\%$$

3.3.1.23 *Balance en el condensador*

De la Ec. 17 y tabla de datos 11

$$\dot{Q}_{\text{gana el agua}} = -\dot{Q}_{\text{pierde la mezcla}}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}} (T_{a2} - T_{a1}) = -\dot{m}_{\text{mezcla}} \overline{C_p} (T_{p2} - T_{p1})$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} 1 (27 - 19) = -4 * 0,62 (13 - 125)$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 34,72 \text{ Kg/h}$$

3.3.1.24 *Cálculo de la entalpía de alimentación:*

De la Ec. 120, tabla de datos 11 y resultados de los puntos 3.3.1.2.2 y 3.3.1.2.3

$$H_{FT} = \dot{m}_{\text{mezcla inicial}} * \overline{C_p} \Delta T$$

$$H_{FT} = 15,43 * 0,644 * (120 - 85)$$

$$H_{FT} = 347,8 \text{ Kcal/h}$$

3.3.1.25 *Cálculo de la entalpía del deshidratado*

De la Ec. 20, tabla de datos 11 y resultados de los puntos 3.3.1.2.2 y 3.3.1.2.3

$$H_P = \dot{m}_{\text{mezcla final}} * \overline{C_p} \Delta T$$

$$H_P = 4 * 0,62 (13 - 125)$$

$$H_P = -277,8 \text{ Kcal/h}$$

$$H_W = \dot{m}_w * C_{p_{\text{agua}}} \Delta T$$

$$H_W = 1,13 * 1 (125 - 85)$$

$$H_W = 45,2 \text{ Kcal/h}$$

El signo negativo indica que se está perdiendo calor al enfriar el producto, es simbólico

3.3.1.26 *Cálculo del rendimiento del tamiz*

De la Ec. 21 y tabla de datos 10

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{5}{19} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 26,3\%$$

3.3.1.27 *Cálculo del calor perdido:*

De la Ec. 23 y resultados de los puntos 3.3.1.2.10 y 3.3.1.2.11

$$Q_{\text{sale}} = \Delta H = H_W + H_P - H_{FT}$$

$$Q_{\text{sale}} = \Delta H = 45,2 + 277,8 - 347,8$$

$$Q_{\text{sale}} = -24,8 \text{ Kcal/h}$$

El signo negativo indica que se está liberando o perdiendo calor, es únicamente simbólico

3.3.1.28 *Cálculo de la eficiencia del equipo:*

De la Ec. 22 y resultado de los puntos 3.3.1.2.4 y 3.3.1.2.13

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q_{\text{entra}} - Q_{\text{sale}}}{Q_{\text{entra}}} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{347,74 - 24,8}{347,74} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 92,9\%$$

3.3.1.28.1 *Cálculo de la cantidad de agua absorbida*

De la Ec. 7, Ec. 8 y Ec. 9, y datos de la tabla 11

$$k = 8 \times 10^{-7} e^{\left(\frac{6014}{T_{P1}}\right)}$$

$$k = 8 \times 10^{-7} e^{\left(\frac{6014}{398,15}\right)}$$

$$k = 2,90$$

$$n = 4,223 - \left(\frac{1050,7}{T_{p1}} \right)$$

$$n = 4,223 - \left(\frac{1050,7}{398,15} \right)$$

$$n = 1,58$$

$$q = \frac{10k \left(\frac{P_{p1}}{1,1085 \times 10^{-4} T_{p1}} \right)^{1/n}}{1 + k \left(\frac{P_{p1}}{1,1085 \times 10^{-4} T_{p1}} \right)^{1/n}}$$

$$q = \frac{10 * 2,90 \left(\frac{1,37}{1,1085 \times 10^{-4} * 398,15} \right)^{1/1,58}}{1 + 2,90 \left(\frac{1,37}{1,1085 \times 10^{-4} * 398,15} \right)^{1/1,58}}$$

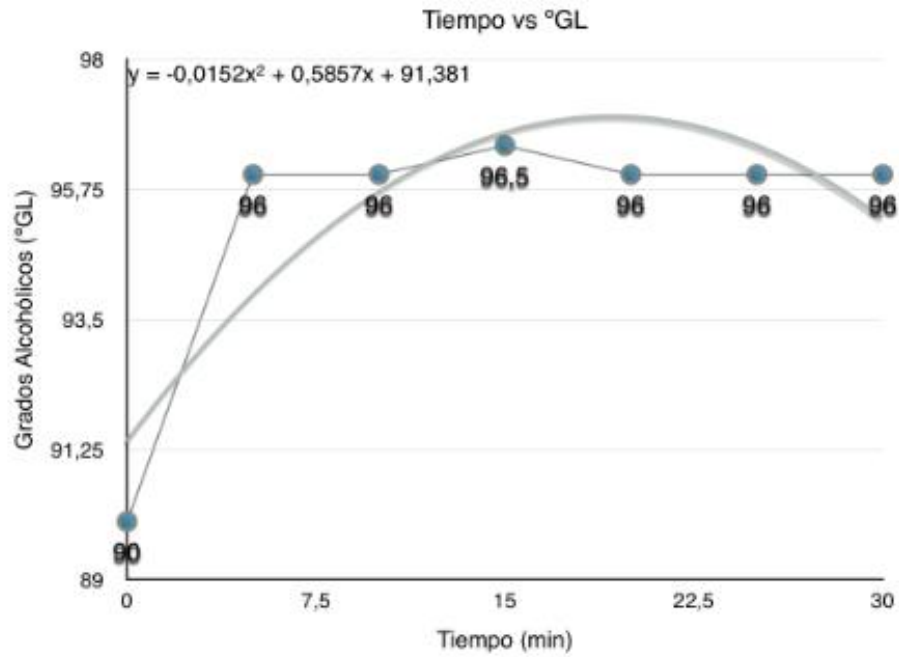
$$q = \frac{255,07}{26,51}$$

$$q = 9,62 \frac{\text{mol de agua}}{\text{Kg de adsorbente}}$$

3.3.1.29 *Gráficos basados en los datos experimentales*

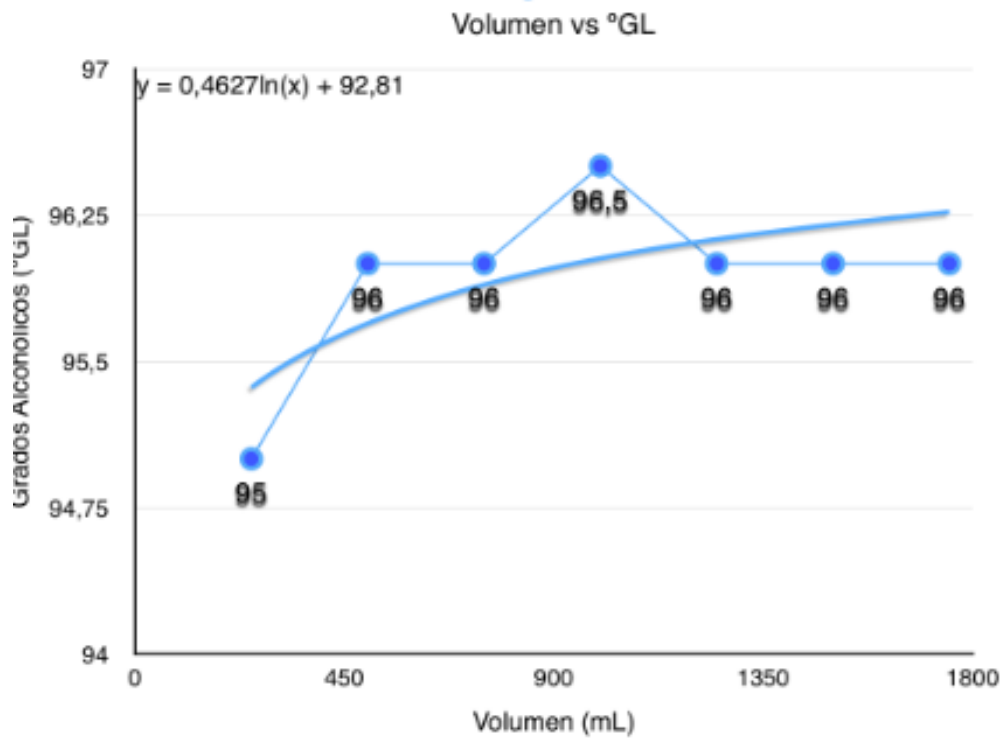
3.3.1.30 *Tamiz Molecular*

GRAFICO 1 TIEMPO VS °GL



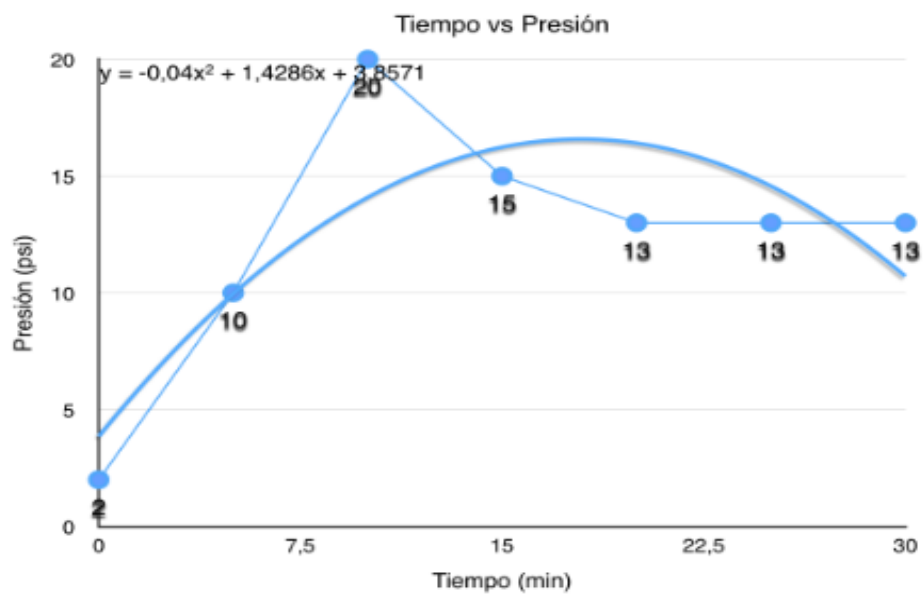
Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

GRAFICO 2 TAMIZ, VOLUMEN VS °GL



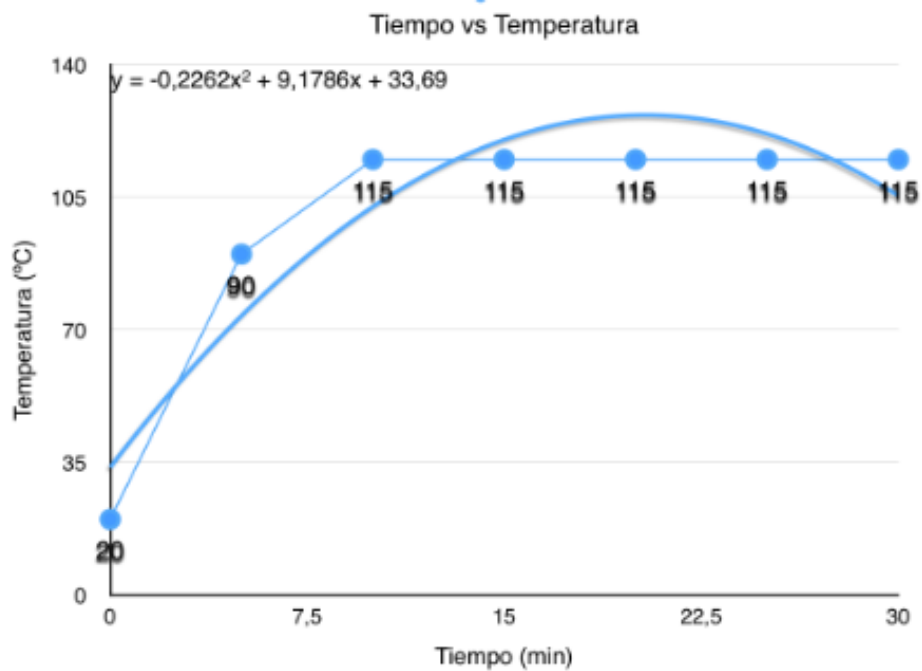
Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

GRAFICO 3 TIEMPO VS PRESIÓN



Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

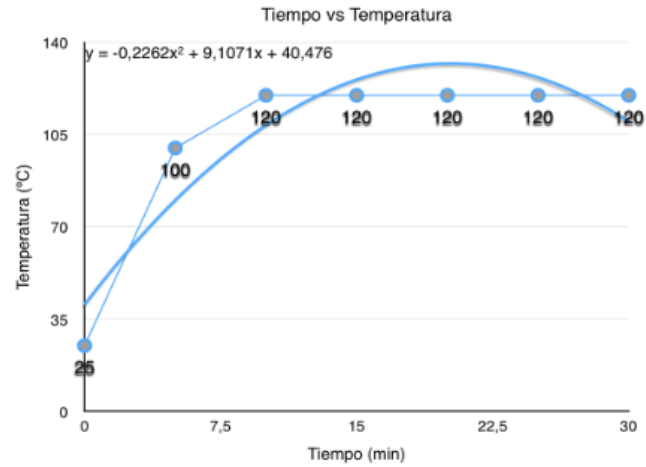
GRAFICO 4 TIEMPO VS TEMPERATURA



Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

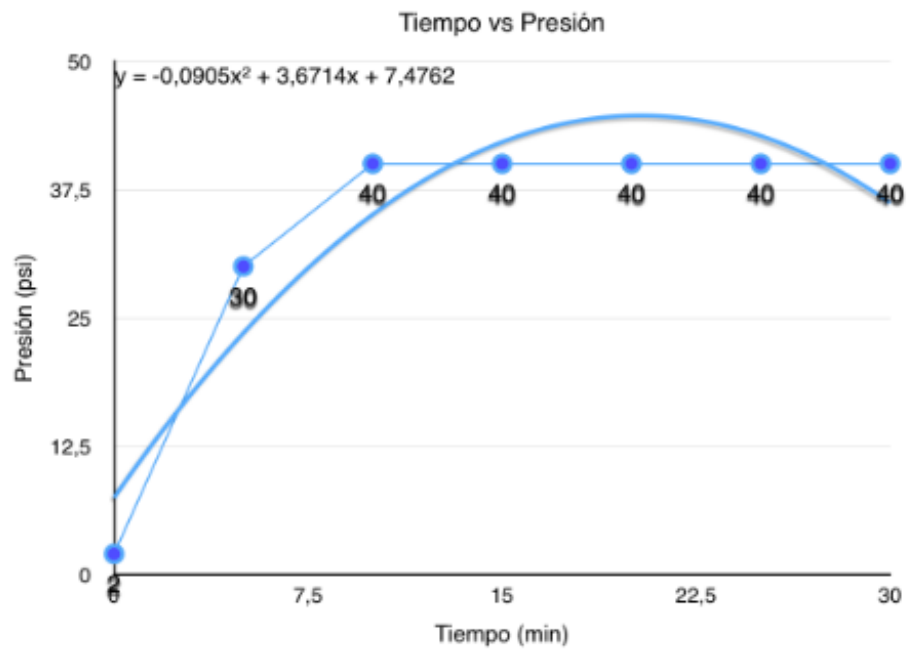
3.3.1.31 *Pre-Calentador*

GRAFICO 5 TIEMPO VS TEMPERATURA



Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

GRAFICO 6 TIEMPO VS PRESIÓN



Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

3.3.2 Práctica de laboratorio previo a la validación

3.3.2.1 Deshidratador (alcohol potable 96 °gl)

3.3.2.2 Cálculo de la densidad de la mezcla agua-etanol

De la Ec. 1 y tabla de datos 6

$$\rho_{mezcla} = \rho_{OH}X_{OH} + \rho_{H_2O}X_{H_2O}$$

$$\rho_{mezcla\ inicial} = 0,79 * 0,96 + 0,99 * 0,04$$

$$\rho_{mezcla\ inicial} = 0,798\text{ Kg/L}$$

$$\rho_{mezcla\ final} = 0,79 * 0,995 + 0,99 * 0,005$$

$$\rho_{mezcla\ final} = 0,791\text{ Kg/L}$$

3.3.2.3 Cálculo de la masa de la mezcla alcohol-agua

De la Ec. 3, tabla de datos 8 y resultados de los puntos 3.3.2.1.1

$$\rho_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{V_{mezcla}}$$

$$m_{mezcla\ inicial} = 0,798 * 30$$

$$m_{mezcla\ inicial} = 23,94\text{ Kg}$$

$$m_{mezcla\ final} = 0,791 * 5$$

$$m_{mezcla\ final} = 4\text{ Kg}$$

3.3.2.4 Cálculo de la capacidad calorífica media(\overline{Cp})

De la Ec. 14 y tabla de datos 12

$$(\overline{Cp}) = \sum X_i C_{pi}$$

$$(\overline{Cp})_{inicial} = 0,04 * 1 + 0,96 * 0,6$$

$$(\overline{Cp})_{inicial} = 0,616 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

$$(\overline{Cp})_{final} = 0,005 * 1 + 0,995 * 0,6$$

$$(\overline{Cp})_{final} = 0,602 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

3.3.2.5 Balance de energía en el pre-calentador

En la Ec. 19, tabla de datos 13

$$-\dot{Q}_{cede \text{ el vapor}} = \dot{Q}_{gana \text{ la mezcla de alimentación}}$$

$$-\dot{m}_{steam} Cp_{steam} (T_{s2} - T_{s1}) \\ = \dot{m}_{mezcla} \overline{Cp} (T_{FT2} - T_{FT1})$$

$$-\dot{m}_{steam} 0,48 (80 - 134,45) \\ = 23,94 * 0,644 (105 - 85)$$

$$\dot{m}_{steam} = 11,80 \text{ Kg/h}$$

$$\dot{Q}_{entrada} = \dot{m}_{steam} Cp_{steam} (T_{s2} - T_{s1})$$

$$\dot{Q}_{entrada} = 11,80 * 0,48 (80 - 134,45)$$

$$\dot{Q}_{entrada} = -308,40 \text{ Kcal/h}$$

El signo negativo indica que se está cediendo calor, es solo simbólico

3.3.2.6 Balance para el tamiz

En la Ec. 11 y resultados de los puntos 3.3.2.1.2 y 3.3.2.1.6

$$F_T = A + P$$

$$P = 23,94 - 0,9576$$

$$P = 22,98 \text{ Kg/h}$$

3.3.2.7 Cálculo teórico de la acumulación (4%)

En la Ec. 12 y resultados de los puntos 3.3.2.1.2

$$A = 0,04 F_T$$

$$A = 0,04 * 23,94$$

$$A = 0,9576 \text{Kg/h}$$

3.3.2.7.1 Balance para el alcohol

En la Ec. 15, tabla de datos 12 y resultados de los puntos 3.3.2.1.5

$$F_T x_{FT-OH} = P x_{P-OH}$$

$$23,94 * 0,96 = 22,98 x_{P-OH}$$

$$x_{P-OH} = 1,00$$

3.3.2.8 Balance en el condensador

En la Ec. 17 y **Ec. 18** y tabla de datos 12

$$\dot{Q}_{\text{gana el agua}} = -\dot{Q}_{\text{pierde la mezcla}}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}} (T_{a2} - T_{a1}) \\ = -\dot{m}_{\text{mezcla}} \bar{C}_p (T_{P2} - T_{P1}) \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} 1 (28 - 20) = -4 * 0,602 (15 - 93)$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 23,48 \text{ Kg/h}$$

3.3.2.9 Cálculo de la entalpía de alimentación

En la Ec. 20, tabla de datos 13 y resultados de los puntos 3.3.2.1.2 y 3.3.2.1.3

$$H_{FT} = \dot{m}_{\text{mezcla inicial}} * \bar{C}_p \Delta T$$

$$H_{FT} = 23,94 * 0,616 * (105 - 85)$$

$$H_{FT} = 295 \text{ Kcal/h}$$

3.3.2.10 Cálculo de la entalpía del deshidratado

En la Ec. 20, tabla de datos 13 y resultados de los puntos 3.3.2.1.2 y 3.3.2.1.3

$$H_P = \dot{m}_{\text{mezcla final}} * \overline{C_p} \Delta T$$

$$H_P = 4 * 0,602(15 - 114)$$

$$H_P = -238,4 \text{ Kcal/h}$$

$$H_W = \dot{m}_w * C_{p_{\text{agua}}} \Delta T$$

$$H_W = 0,9576 * 1 * (114 - 130)$$

$$H_W = -15,3 \text{ Kg/h}$$

El signo negativo indica que se está perdiendo calor al enfriar el producto, es simbólico

3.3.2.11 *Cálculo del rendimiento del tamiz*

En la Ec. 21 y tabla de datos 12

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{5}{30} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 16,67\%$$

3.3.2.12 *Cálculo del calor perdido:*

En la Ec. 23 y resultados de los puntos 3.3.2.1.9 y 3.3.2.1.10

$$Q_{\text{sale}} = \Delta H = H_W + H_P - H_{FT}$$

$$Q_{\text{sale}} = \Delta H = 15,3 + 238,4 - 295$$

$$Q_{\text{sale}} = -41,3 \text{ Kcal/h}$$

El signo negativo indica que se está liberando o perdiendo calor, es únicamente simbólico

3.3.2.13 *Cálculo de la eficiencia del equipo*

De la Ec. 22 y resultados de los puntos 3.3.2.1.4 y 3.3.2.1.12

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q_{\text{entra}} - Q_{\text{sale}}}{Q_{\text{entra}}} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{308,4 - 41,3}{308,4} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 86,6 \%$$

3.3.2.14 *Cálculo de la cantidad de agua absorbida*

$$k = 8 \times 10^{-7} e^{\left(\frac{6014}{T_{P1}}\right)}$$

$$k = 8 \times 10^{-7} e^{\left(\frac{6014}{387,15}\right)}$$

$$k = 4,5$$

$$n = 4,223 - \left(\frac{1050,7}{T_{P1}}\right)$$

$$n = 4,223 - \left(\frac{1050,7}{387,15}\right)$$

$$n = 1,51$$

$$q = \frac{10k \left(\frac{P_{P1}}{1,1085 \times 10^{-4} T_{P1}} \right)^{1/n}}{1 + k \left(\frac{P_{P1}}{1,1085 \times 10^{-4} T_{P1}} \right)^{1/n}}$$

$$q = \frac{10 * 4,5 \left(\frac{1,03}{1,1085 \times 10^{-4} * 387,15} \right)^{1/1,51}}{1 + 4,5 \left(\frac{1,03}{1,1085 \times 10^{-4} * 387,15} \right)^{1/1,51}}$$

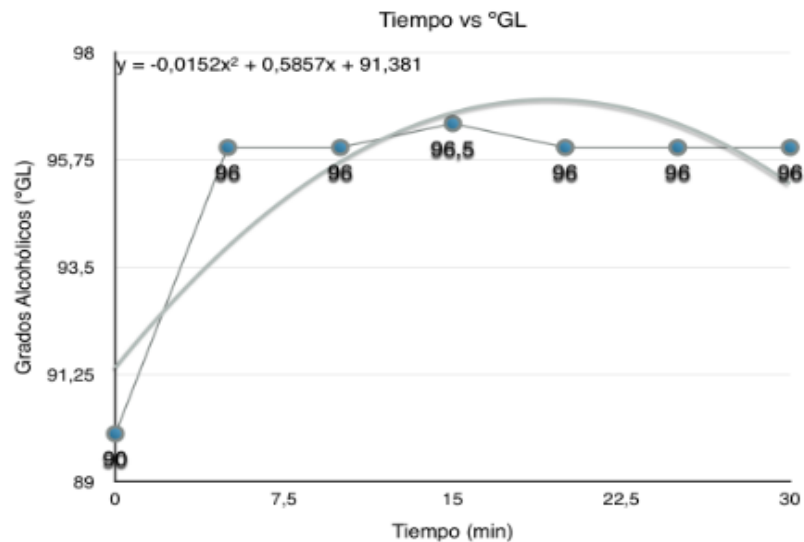
$$q = \frac{369,2}{38}$$

$$q = 7,70 \frac{\text{mol de agua}}{\text{Kg de adsorbente}}$$

3.3.2.15 Gráficos basados en los datos experimentales.

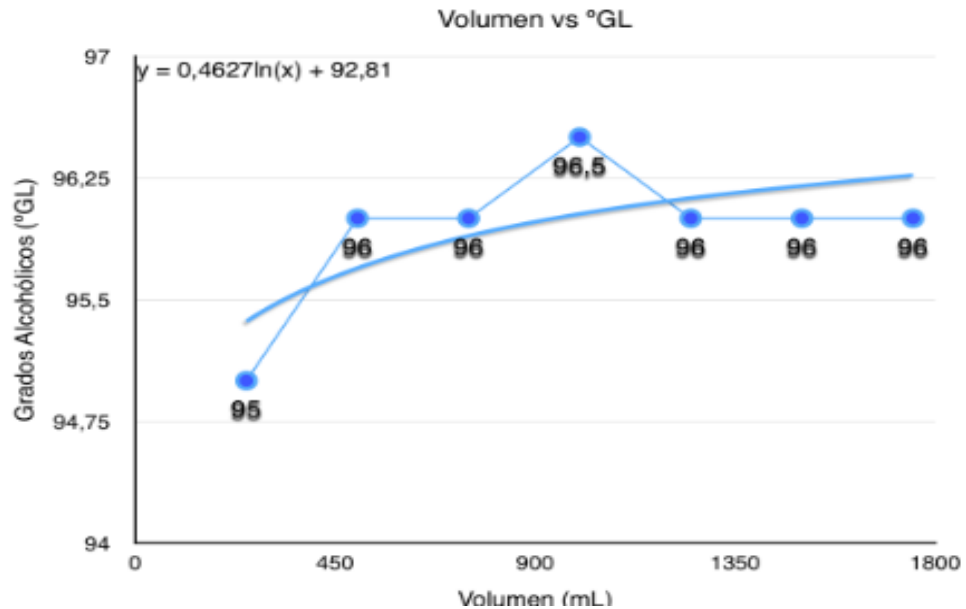
3.3.2.16 Tamiz Molecular

GRAFICO 7 TIEMPO VS °GL



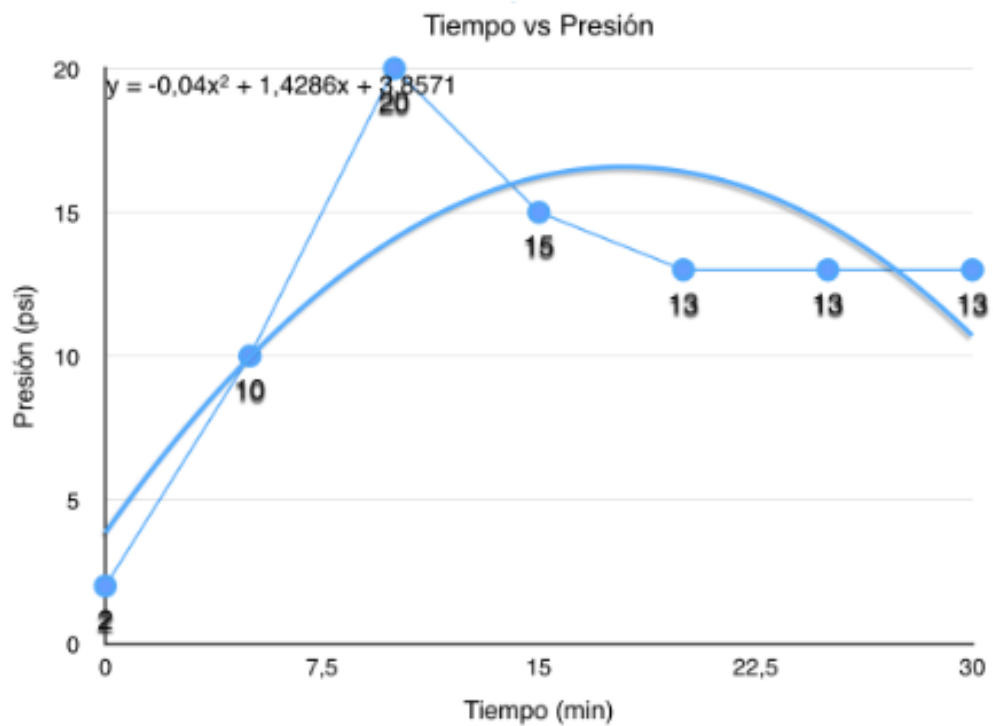
Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

GRAFICO 8 VOLUMEN VS °GL



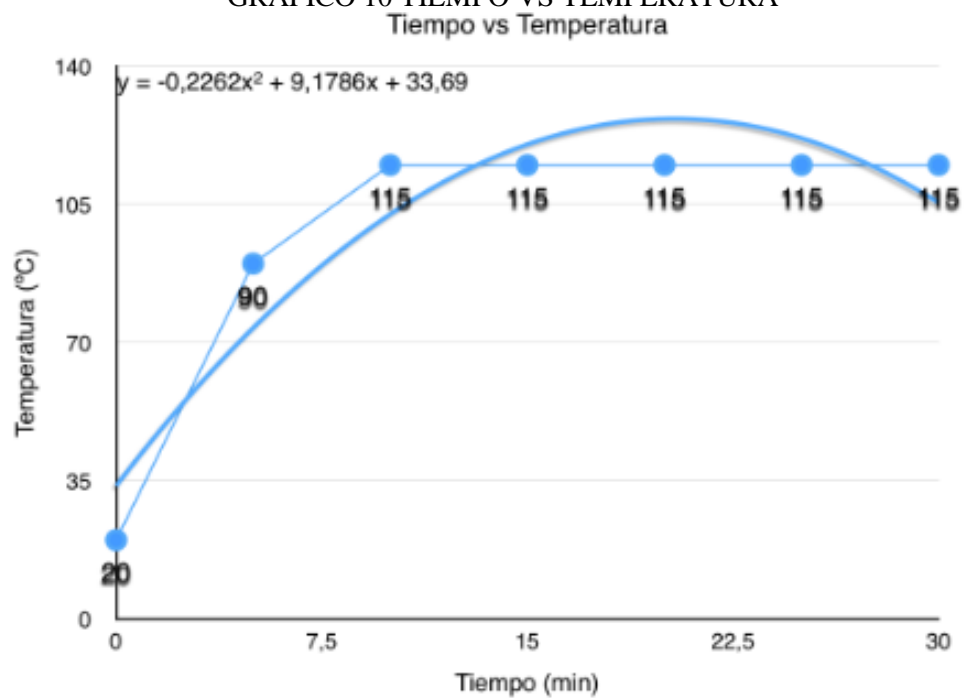
Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

GRAFICO 9 TIEMPO VS PRESIÓN



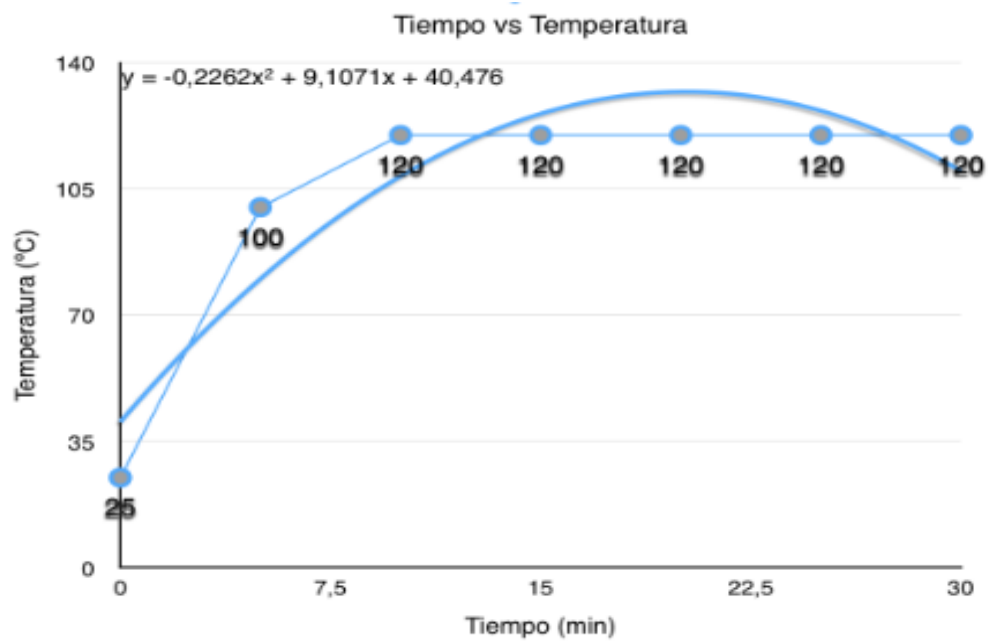
Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

GRAFICO 10 TIEMPO VS TEMPERATURA



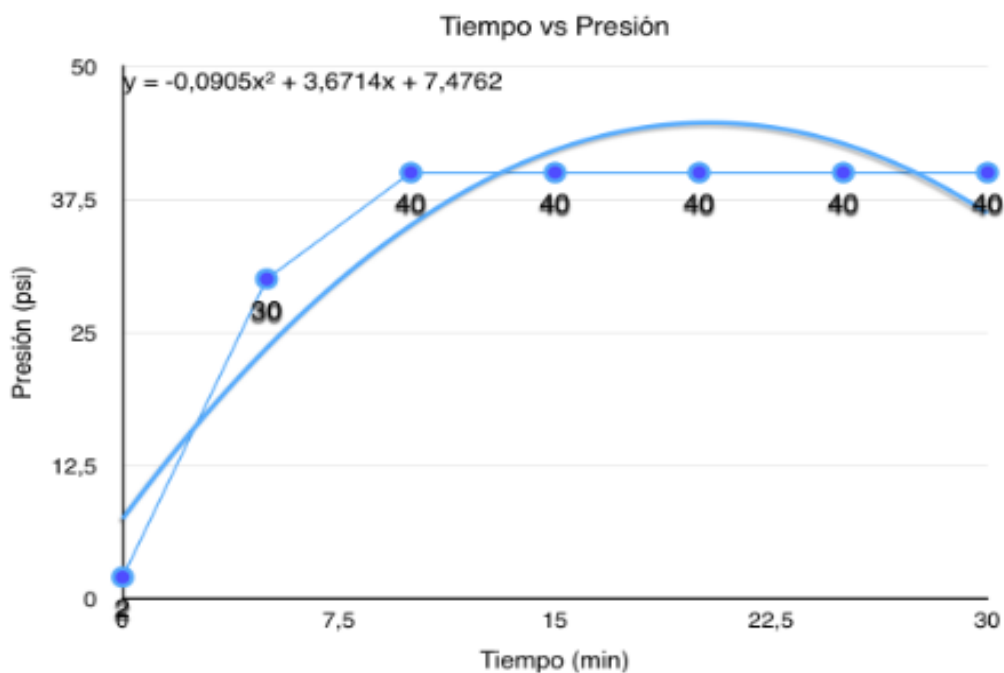
3.3.2.17 *Pre-Calentador*

GRAFICO 11 TIEMPO VS PRESIÓN



Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

GRAFICO 12 TIEMPO VS PRESIÓN



Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

3.4 TABLA DE RESULTADOS

TABLA 16 RESULTADOS DE DESHIDRATADO

Primer ensayo							
$^{\circ}\text{GL}_1$	$^{\circ}\text{GL}_2$	$\Delta ^{\circ}\text{GL}$	q	R	ε	V_1	V_2
96	99,5	3,5	7,70	16,67	86,6	30	5
Segundo ensayo							
$^{\circ}\text{GL}_1$	$^{\circ}\text{GL}_2$	$\Delta ^{\circ}\text{GL}$	q	R	ε	V_1	V_2
89	96	7	9,62	26,3	92,9	19	5

Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Del primer ensayo se concluye que para el equipo le es suficiente trabajar con un rendimiento y eficiencia de 16,67 % y 86,6 % respectivamente para absorber 7,70 moles de agua y elevar 3,5 grados alcohólicos. A diferencia del segundo ensayo, en el cual se ha trabajado con un alcohol menos rectificado, el equipo necesita de un mayor esfuerzo para elevar el grado alcohólico lo mayormente posible, siendo así, se ha operado con un rendimiento y eficiencia de 26,3% y 92,9% para absorber 9,62 moles de agua elevando 7 grados alcohólicos de 5 litros obtenidos.

3.5 Propuesta de diseño

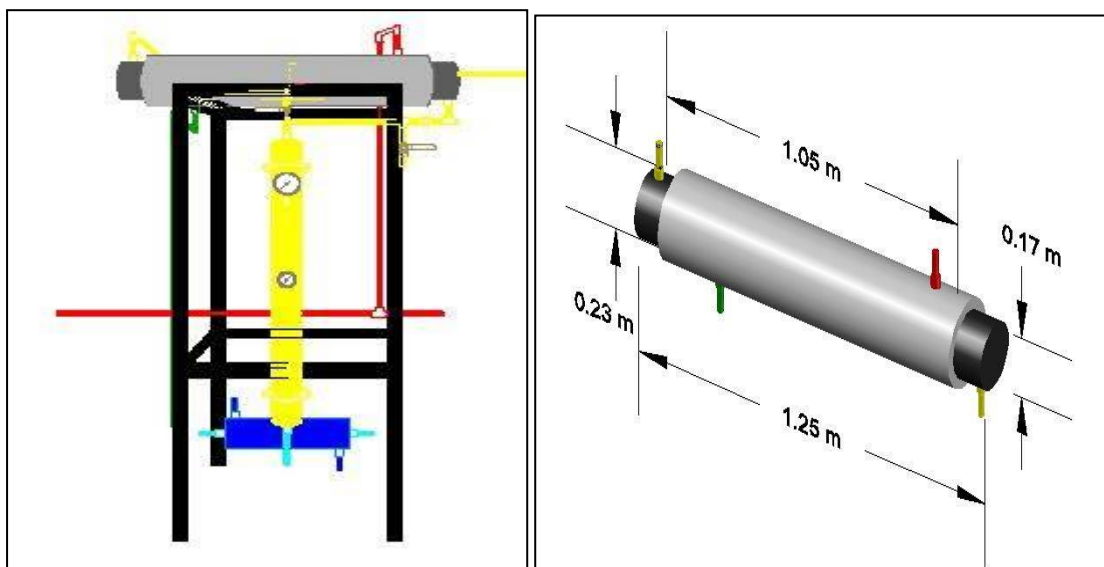
TABLA 17 DIMENSIONAMIENTO PARA EL DESHIDRATADOR DE ALCOHOL

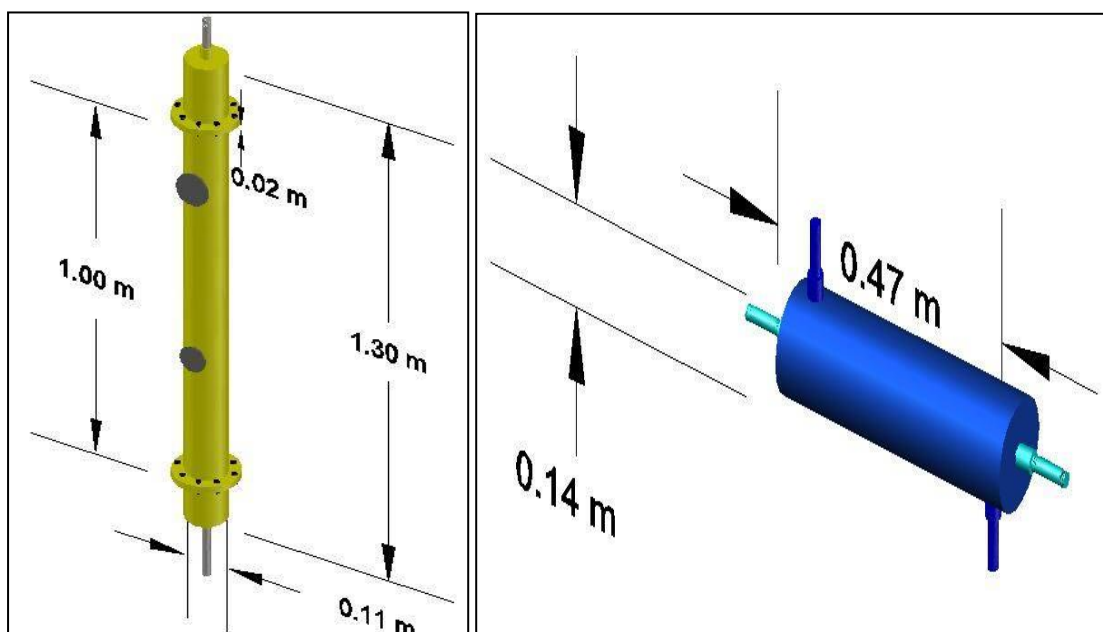
ABSORCIÓN DE LA ZEOLITA A3	15%	
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	ACERO INOXIDABLE AISI 304	
DIMENSIONES		
ELEMENTOS DIMENSIONES	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)
TAMIZ	11	130
SUPERCALENTADOR	17	125
CONDENSADOR	14	47

Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

La alimentación a nuestro supercalentador deberá proporcionarse en estado gaseoso, es así que el alcohol crudo es calentado en el destilador hasta llevarlo a estado gaseoso.

3.6 Esquema de equipo





3.7 Costos de Producción

TABLA 18 COSTOS DE PRODUCCIÓN

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL (USD)
Alcohol al 96%	30 L	3,20 USD	96
GLP	4 (15Kg)	1,90	3,8
Agua potable	80 L	0.007	0,56
			100,36

Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

TABLA 19 PRECIO DE VENTA

Litros Obtenidos de alcohol al 99,5%	Precio alcohol anhidro (Diciembre 2014)	TOTAL (USD)
5	18 USD	90
FONDOS (L)	Precio del alcohol al 92%	Total
15	1,9 USD	28,5
		118,5

Fuente: ARELLANO A./ RIOFRIO L., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

3.8 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.

Una vez identificadas las variables de diseño del deshidratador de alcohol, se realizó los cálculos para dimensionar el equipo, siendo estos: 8,5 kg de zeolita necesarios para elevar 3,5 GL a un volumen de 30 L, un lecho con una altura de 100 cm, 15 cm en la parte superior y 15 cm en la parte inferior del tamiz requeridos para una correcta entrada y salida de alimentación en estado gaseoso.

La construcción del equipo es en acero inoxidable AISI 304, por ser un material que otorga una buena resistencia a la corrosión, temperaturas y presiones que pueden ser consideradas altas.

Mediante cálculos de ingeniería se determinó que el proceso requiere 1409,2 Kcal/h de vapor de agua necesarios para destilar 30 litros de alcohol artesanal elevando su porcentaje de pureza de 50% a 89% obteniendo 19 litros de destilado.

El proceso requiere 347,7 Kcal/h de vapor, proveniente de la segunda caldera, adecuados para deshidratar 19 L de destilado y elevar su porcentaje de pureza a un 96% partiendo de un 89%, lo cual, indica que 9,62 moles de agua / Kg absorbente son absorbidos gracias a la Zeolita A3 obteniendo como producto 5 L de alcohol anhidro.

El deshidratador trabaja con un rendimiento del 16,67%, lo cual, muestra que es un porcentaje de rendimiento bajo, esto debido a que, nuestro vapor de alimentación contiene una gran cantidad de agua que es retenida en el tamiz molecular dando como resultado un volumen de producto de alcohol anhidro considerablemente puro.

Al trabajar con una sola caldera a una presión de 40 PSI se obtiene una producción de calor de 308,4 Kcal/h, pero al conocer también que nuestro equipo funciona correctamente con una presión de 80 PSI, se tiene que, es indispensable el abastecimiento de una nueva caldera que proporcione los 40 PSI necesarios para elevar la producción de calor a 347,7 Kcal/h ajustando así las variables tanto de presión 20 PSI y temperatura 110°C para obtener el producto final.

La máquina trabaja con una eficiencia del 92,9%, lo cual, demuestra que el 7,1% corresponde a pérdidas propias de la máquina ya sean estas en las caídas de presión de

precalentador, como aumento de temperatura del condensador fuera de los rangos establecidos.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un equipo capaz de elevar de 3,5 a 7 grados alcohólicos al etanol, llegando a obtener un producto al 99,5% GL.
- Se absorbieron en el tamiz de 7,7 a 9 moles de agua por cada mol de desecante.
- Se determinó las variables óptimas siendo: Supercalentador 120°C y 40 PSI, reboiler 40 PSI y el en tamiz de 125°C, 15 PSI.
- Se determinó que se requiere 8 kg de zeolita en el tamiz para trabajar con un alcohol del 90% y llevarlo al 96GL
- Se midió varias muestras de alcohol artesanal en la ciudad de Riobamba, alcoholes provenientes de las ciudades de Puyo alcanzaron una media de 50 GL mientras que la media de los provenientes de Bucay llegaron a 45 GL.
- Se validó el deshidratador proporcionando con una eficiencia del 92,9% y un grado alcohólico del 99,5%.
- Se concluyó que la alimentación al reboiler deberá ser un volumen no menor a 15 litros.

RECOMENDACIONES

- Previa manipulación del equipo cerciorarse de la pureza de la alimentación ya que esta cambia las variables de proceso.
- Instruirse con el manual de operación del deshidratador para un mejor entendimiento del proceso y para un mejor uso del equipo.
- Trabajar con un mechero industrial bajo el reboiler (calderín) para poner en contacto directo el calor con el área de alimentación que no está recubierta por la chaqueta.
- Proporcionar una alimentación etanol-agua preferiblemente con una pureza superior al 92%, para evitar contaminar tempranamente el lecho de zeolita y romper el punto azeotrópico (96%), y para llegar a obtener alcohol anhidro (99,5%) se deberá trabajar con una alimentación de 96%.
- Cuando la temperatura del reboiler suba de manera drástica superando los 125 °C, quiere decir que ya ha terminado el proceso y el resto de alcohol que sobra corresponde a fondos o sobrantes.
- Buscar una alternativa para que las calderas no funcionen con GLP.

BIBLIOGRAFÍA

BIOTECNOLOGIA DEL ALCHOL CARBURANTE. José Gregorio Hernandez. 2012

http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S03788442005001100005&script=sci_arttext

2013/09/24

CALDERO, C. Alcohol carburante: una alternativa con altos beneficios económicos, sociales y ecológicos. Cali-Colombia. Cenicaña. 2000, 2-6

CERPA, Manuel. Producción del etanol anhidro como aditivo para la gasolina a partir de la caña de azúcar. Valladolid-España. Magdalena. 2005, 1-4

CHOLOTA/MORA. Diseño, construcción y pruebas de un sistema prototipo para la producción de etanol a partir de papa, zanahoria, remolacha, y lacto suero. (Tesis) Ing. Mec. ESPOCH, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Riobamba-Ecuador. 2010, 4-27.

DESHIDRATACIÓN DE ALCOHOL. Manuel Cáceres. 2012

www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol5/8.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec

2013/09/21

ETANOL. Luis Torres. 2010

<http://www.diario-extra.com/ediciones/2010/05/22/especial/no-hay-etanol-para-tanto-carro/>

2013/09/19

GASOLINA ECOPAIS. Giselle Cobos. 2011

http://www.ciudadaniainformada.com/noticias-politica-cuador0/noticias-politica-ecuador/browse/10/ir_a/politica/article//ecopais-se-distribuye-desde-hoy-en-guayaquil.html

2013/09/19

LÓPEZ/LOZADA. Obtención de etanol anhidro con adición de electrolitos. (Tesis) Ing. Químico. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química, Manizales-Caldas. 2005, 1-11

MASSON, Ricaurte. Determinación de la eficiencia de mezcla de gasolina de ochenta octanos con etanol anhidro para su utilización en motores de combustión interna de cuatro tiempos encendido por chispa. (tesis) Ing. Automotriz, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz, Riobamba-Ecuador. 2012, 27-30.

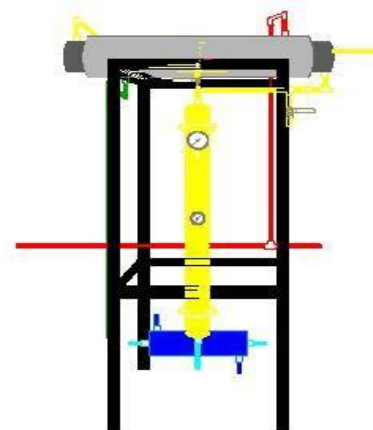
PROCESO DE DESHIDRATACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL ANHIDRO. Abad G. Enidel. 2011

<ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/363/1/IQ007-R79>

2013/09/26

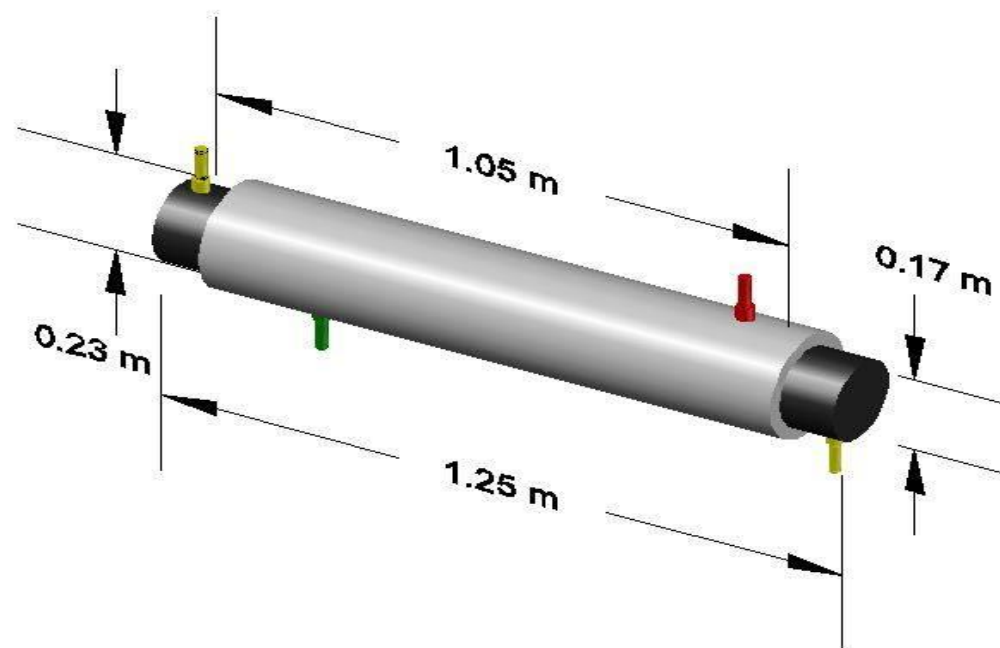
QUIZHPI, L. Obtención de etanol a partir de los residuos orgánicos de la sección de frutas del mercado Mayorista de Riobamba. (Tesis) Tlgo. Ambiental. ESPOCCH, Facultad de Ciencias, Escuela de Biotecnología Ambiental, Riobamba-Ecuador. 2008, 13-27

ANEXO I DESHIDRATADOR



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	ESPOCH Elaborado por: Alberto Arellano Luis Riofrío	DESHIDRATADOR POR TAMICES		
A. PLANO DEL DESHIDRATADOR			ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	22-10-2014	I

ANEXO PRECABLENTADOR



NOTAS

II DRATADOR POR TAMICES

DIAGRAMA

A. PLANO
TAMIZ

DEL

- ☐ Certificado
- ☐ Aprobado
- ☐ Por Aprobar
- ☐ Por calificar

Elaborado por:

Alberto Arellano

Luis Riofrío

ESCALA

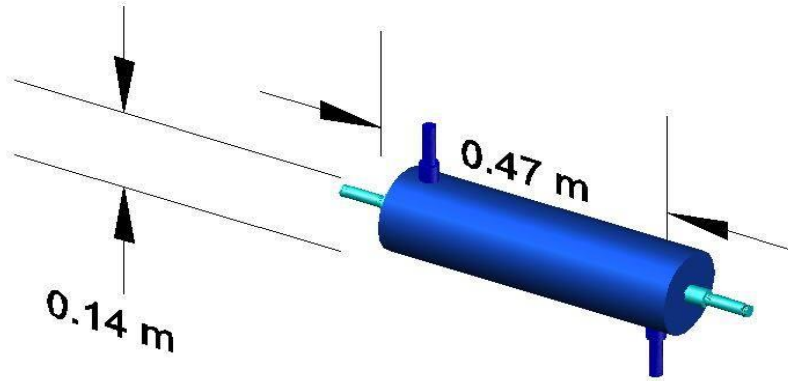
FECHA

LÁMINA

A4

22-10-2014


I

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DESHIDRATADOR POR TAMICES		
A. PLANO DEL PRECALENTADOR	<div> <div>ANEXO IV</div> <div>CONDENSADOR</div> </div> <div> <input type="checkbox"/> Ce <input type="checkbox"/> Ap <input type="checkbox"/> Poi <input type="checkbox"/> Poi </div> 		ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	22-10-2014	I

NOTAS	CATEGORIA DEL	ESPOCH	DESHIDRATADOR POR		
	DIAGRAMA		TAMICES		
A. PLANO DEL CONDENSADOR	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	Elaborado por: Alberto Arellano Luis Riofrío	ESCALA	FECHA	LÁMINA
	ANEXO V	DESHIDRATADOR	A4	22-10-2014	I

					
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	ESPOCH Elaborado por: Alberto Arellano Luis Riofrío	DESHIDRATADOR POR TAMICES		
A. DESHIDRATADOR POR TAMICES			ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	22-10-2014	I

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ANEXO VII	ESPOCH	DESHIDRATADOR POR TAMICES		
	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Por calificar</div>		Elaborado por: Alberto Arellano Luis Riofrío	ESCALA	FECHA	LÁMINA
A. PRECALENTADOR				A4	22-10-2014	I

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DESHIDRATADOR POR TAMICES		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	CONDENSADOR or: ano o	ESCALA	FECHA	LÁMINA
A. TAMIZ			A4	22-10-2014	I
					

NOTAS	CATEGORIA DEL ANEXO IX ACCESORIOS DEL DESHIDRATADOR DIAGRAMA	ESPOCH	DESHIDRATADOR POR TAMICES		
A. CONDENSADOR	<div><div>A</div><div><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar</div></div>	<div><div>Elaborado por:</div><div>B</div><div>Alberto Are</div><div>Luis Riof</div></div>	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	22-10-2014	I
					

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DESHIDRATADOR POR TAMICES		
A. TRAMPA DE AGUA B. LLAVE DE PASO DE VAPOR	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	Elaborado por: Alberto Arellano Luis Riofrío	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	22-10-2014	I



NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DESHIDRATADOR POR TAMICES			
A. TAMIZ ZEOLITA	CON			Elaborado por:	ESCALA	FECHA	LÁMINA
				Alberto Arellano Luis Riofrío	A4	22-10-2014	I
		<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar					